



TESIS - TM 142501

**PENGARUH TIPE ABRASIF DAN VARIABEL PROSES  
GERINDA TERHADAP GAYA POTONG, INTEGRITAS  
PERMUKAAN BENDA KERJA (IPBK) DAN MODE  
PEMBENTUKAN GERAM (MPG) PADA PROSES GERINDA  
PERMUKAAN BAJA PERKAKAS DAC YANG TELAH  
DIKERASKAN**

SAIFUL ARIF  
NRP 2112201005

Dosen Pembimbing  
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS - TM 142501

# **EFFECTS OF ABRASIVE TYPE AND GRINDING VARIABLES ON GRINDING FORCE, SURFACE INTEGRITY AND CHIP FORMATION OF SURFACE GRINDING IN HARDENED DAC TOOL STEEL**

SAIFUL ARIF  
NRP 2112201005

Advisor  
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.

MASTER PROGRAM  
FIELD STUDY OF ENGINEERING AND MANUFACTURING SYSTEM  
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015



**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)**

**di**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**SAIFUL ARIF**

**NRP. 2112 201 005**

**Tanggal Ujian : 23 Januari 2015**

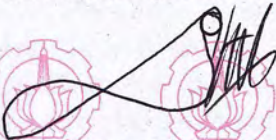
**Periode Wisuda : Maret 2015**

**Disetujui oleh:**



**1. Ir. Bobby O. P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 1953 05 16 197803 1 001**

**(Pembimbing 1)**



**2. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.  
NIP. 1960 06 23 198803 1 002**

**(Pembimbing 2)**



**3. Dr. Ir. Soeharto, DEA.  
NIP. 1948 09 11 198103 1 001**

**(Penguji)**



**4. Dr. Ir. Helena Carolina Kis Agustin, DEA.  
NIP. 1963 08 15 198903 2 001**

**(Penguji)**

**Direktur Program Pascasarjana,**



**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.  
NIP. 1964 04 05 199002 1 001**

**PENGARUH TIPE ABRASIF DAN VARIABEL PROSES GERINDA  
TERHADAP GAYA POTONG, INTEGRITAS PERMUKAAN BENDA  
KERJA (IPBK) DAN MODE PEMBENTUKAN GERAM (MPG) PADA  
PROSES GERINDA PERMUKAAN BAJA PERKAKAS DAC YANG  
TELAH DIKERASKAN**

Nama Mahasiswa : Saiful Arif  
NRP : 2112 201 005  
Pembimbing I : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.  
Pembimbing II : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

**ABSTRAK**

Proses gerinda adalah suatu proses pemesinan dengan perilaku proses yang tidak tetap. Karakteristik-karakteristik yang kompleks dari proses gerinda menentukan kualitas dari produk hasil penggerindaan. Pemilihan tipe abrasif dan parameter proses gerinda (kecepatan makan dan kedalaman potong) yang tidak tepat dapat mempengaruhi gaya potong, integritas permukaan benda kerja (IPBK) yang mencakup kekasaran permukaan benda kerja, *surface burning*, dan kepadatan retakan. Selain itu, kinerja dari proses gerinda juga dapat dievaluasi berdasarkan mode pembentukan geram (MPG).

Penelitian yang telah dilakukan ditujukan untuk mempelajari pengaruh tipe abrasif (A64K dan GC64K), tiga level kecepatan makan (150 mm/s, 200 mm/s, dan 250 mm/s) dan tiga level kedalaman potong (0,01 mm, 0,03 mm, dan 0,06 mm) terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada proses gerinda permukaan baja perkakas DAC yang telah dikeraskan. Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen faktorial 2 x 3 x 3. Cairan pendingin yang digunakan adalah *soluble oil*. Pengukuran gaya potong dilakukan dengan menggunakan dinamometer, kekasaran permukaan diukur dengan menggunakan *surface tester*, serta penentuan kepadatan retakan dan bentuk geram dilakukan dengan mengamati foto hasil *scanning electron microscope* (SEM).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel proses gerinda permukaan yang berpengaruh signifikan terhadap gaya potong adalah kedalaman potong, sedangkan terhadap kekasaran permukaan adalah tipe abrasif dan kedalaman potong. Tidak ditemukan adanya retakan pada permukaan material hasil penggerindaan. Penggunaan tipe abrasif *green silicone* akan menyebabkan derajat *burning* bertambah rendah. Peningkatan kecepatan makan menyebabkan *surface burning* berkurang. Peningkatan kedalaman potong akan menyebabkan peningkatan dari kekasaran permukaan, gaya potong, dan derajat *burning*. Proses gerinda permukaan dengan menggunakan kedalaman potong yang rendah menghasilkan geram dengan bentuk *lamellar* dan *leafy*, sedangkan dengan menggunakan kedalaman potong yang tinggi menghasilkan geram dengan bentuk *leafy*, *spherical*, *lamellar* dan *irregular*.

Kata kunci: abrasif, gaya potong, gerinda permukaan, integritas permukaan benda kerja (IPBK), mode pembentukan geram (MPG)



# **EFFECTS OF ABRASIVE TYPE AND GRINDING VARIABELS ON GRINDING FORCE, SURFACE INTEGRITY AND CHIP FORMATION OF SURFACE GRINDING IN HARDENED DAC TOOL STEEL**

Student Name : Saiful Arif  
NRP : 2112 201 005  
Advisor I : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.  
Advisor II : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

## **ABSTRACT**

Grinding is a manufacturing process with an unsteady process behavior, whose complex characteristics determine the output and the quality. Improper selection of abrasive type and surface grinding parameters (such as feeding speed and depth of cut) can give adverse impact on grinding force, surface integrity, such as surface roughness, surface burning and crack density. Performance of surface grinding can also be evaluated based on chip formation. An experiment was conducted to study the effect of the abrasive type (A64K and GC64K), 3 levels of feeding speed (150 mm/s, 200 mm/s, and 250 mm/s) and 3 levels of depth of cut (0.01 mm, 0.03 mm, and 0.06 mm) on grinding forces, surface integrity and chip formation of surface grinding process on hardened DAC tool steel. Experimental design used in this study was a 2 x 3 x 3 factorial. This experiment use soluble oil as coolant. Grinding force measurement conducted by using a dynamometer, surface roughness was measured by using surfest, and the determination of crack density and chip formation conducted by using a scanning electron microscope (SEM). The results of the experiment showed that surface grinding parameter that significantly influence grinding force was depth of cut. Surface roughness was affected by abrasive type and depth of cut. Surface grinding on hardened DAC tool steel did not produced any crack. The use of green silicone abrasive type will reduce grinding force. Increasing feeding speed will reduce surface burning. Increasing depth of cut will lead to an increase of grinding force, surface roughness, and burning. Surface grinding process using a small depth of cut produced chip having lamellar and leafy shape, while using a high depth of cut produced chip having leafy, spherical, lamellar and irregular shape.

**Keywords:** abrasive, cutting force, surface grinding, surface integrity, chips formation

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan selesainya penyusunan tesis ini, penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Ir. Bobby O. P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D., dan Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc., sebagai dosen pembimbing.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Soeharto, DEA., dan Ibu Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA., sebagai dosen penguji tesis.
3. Istriku Dian Wulan Dadari yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa dalam penulisan tesis ini.
4. Orang tua, adik-adikku dan kakak ipar serta seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, doa, dan semangat untuk terus berusaha sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Program Pascasarjana ITS atas bantuan dan dukungannya.
6. Teman-teman mahasiswa S2 Rekayasa dan Sistem Manufaktur yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan kepada penulis.
7. Seluruh pihak lain yang membantu yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis yang telah disusun ini masih terdapat kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan menjadi tambahan untuk mengembangkan penelitian yang selanjutnya. Amin.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA	
HALAMAN JUDUL INGGRIS	
HALAMAN PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.2.1 Batasan Masalah .....	3
1.2.2 Asumsi Penelitian .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat .....	4
 BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	 5
2.1 Proses Pemesinan Abrasif ( <i>Abrasive Machining</i> ) .....	5
2.2 Proses Gerinda .....	5
2.3 Batu Gerinda .....	7
2.4 <i>Balancing</i> dan <i>Dressing</i> .....	9
2.5 Cairan Pendingin .....	10
2.6 Mekanisme Pembentukan Geram (MPG) .....	11
2.7 Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) .....	15
2.7.1 Kekasaran Permukaan Benda Kerja .....	15
2.7.2 Retak Mikro .....	19
2.7.3 <i>Surface Burning</i> .....	20

2.8	Keausan Pada Proses Gerinda Permukaan .....	20
2.9	Langkah-Langkah dalam Desain Eksperimen .....	21
2.10	Desain Faktorial .....	23
2.11	Analisis Data .....	24
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1	Tahapan Penelitian .....	27
3.2	Variabel-Variabel dalam Penelitian .....	28
3.3	Tempat, Alat dan Penelitian .....	29
3.4	Prosedur Penelitian .....	36
3.5	Pengukuran dan Pengambilan Data .....	37
3.6	Rancangan Percobaan .....	39
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1	Data Hasil Eksperimen .....	41
4.2	Analisis Variabel Proses Terhadap Gaya Potong .....	42
4.3	Analisis Variabel Proses Terhadap Kekasaran Permukaan .....	46
4.4	Pengaruh Variabel Proses Terhadap Surface Burning .....	51
4.5	Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kepadatan Retakan .....	58
4.6	Pengaruh Variabel Proses Terhadap Bentuk Geram .....	60
4.7	Diskusi dan Pembahasan.....	64
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>67</b>
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>71</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh kodifikasi batu gerinda berdasarkan ISO 525-1999 .....	7
Tabel 2.2 Ukuran grit .....	8
Tabel 2.3 Nilai kekerasan batu gerinda .....	8
Tabel 2.4 Jenis bahan pengikat .....	9
Tabel 2.5 Angka kekasaran dan panjang sampel standart .....	17
Tabel 2.6 Nilai kekasaran yang dicapai oleh beberapa pengerjaan .....	18
Tabel 2.7 Susunan data untuk sebuah rancangan faktorial tiga faktor .....	23
Tabel 2.8 Tabel analisis variansi (ANAVA) dua arah .....	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Dinamometer Kistler 9272 .....	31
Tabel 3.2 Komposisi kimia material DAC .....	35
Tabel 3.3 Rancangan Percobaan .....	39
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen gerinda permukaan .....	41
Tabel 4.2 Analisis variansi (ANAVA) variabel proses terhadap gaya potong.....	43
Tabel 4.3 Kondisi hipotesis nol variabel proses terhadap gaya potong .....	44
Tabel 4.4 Pengelompokan hasil gaya potong selama eksperimen.....	45
Tabel 4.5 Analisis variansi (ANAVA) variabel proses terhadap kekasaran permukaan .....	46
Tabel 4.6 Kesimpulan pengaruh variabel proses terhadap kekasaran permukaan ...	47
Tabel 4.7 Kondisi hipotesis nol variabel proses terhadap kekasaran permukaan ....	49
Tabel 4.8 Analisis variansi (ANAVA) variabel proses terhadap temperatur .....	54
Tabel 4.9 Kondisi hipotesis nol variabel proses terhadap temperatur .....	55
Tabel 4.10 Pengaruh kedalaman potong terhadap bentuk geram .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses gerinda permukaan .....	6
Gambar 2.2	Struktur batu gerinda .....	9
Gambar 2.3	Tiga tipe aksi dari butiran abrasif .....	12
Gambar 2.4	Geometri pahat dengan sudut geram (a) positif dan (b) negatif.....	13
Gambar 2.5	Lingkaran gaya pemotongan .....	14
Gambar 2.6	Parameter dalam profil permukaan .....	14
Gambar 2.7	Foto SEM retakan pada baja AISI D2 hasil proses gerinda Permukaan .....	18
Gambar 3.1	Diagram alir metode penelitian .....	27
Gambar 3.2	Mesin gerinda permukaan model KGS818AHD .....	30
Gambar 3.3	Dinamometer KISTLER tipe 9272.....	31
Gambar 3.4	DAQ Kistler tipe 567A.....	32
Gambar 3.5	<i>Charge Amplifier</i> tipe 5070A .....	32
Gambar 3.6	Mitutoyo <i>Surftest</i> 301 .....	33
Gambar 3.7	Scanning electron microscope (SEM) <i>Inspect</i> S50 .....	33
Gambar 3.8	Alat bantu cekam benda kerja .....	34
Gambar 3.9	Benda kerja yang akan dikeraskan .....	35
Gambar 3.10	Benda kerja yang telah dikeraskan .....	35
Gambar 3.11	Skema pengukuran kekasaran permukaan .....	38
Gambar 4.1	Gaya potong searah sumbu X ( $F_x$ ) yang terjadi pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 200 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.....	42
Gambar 4.2	Gaya normal ( $F_z$ ) yang terjadi pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 200 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm .....	43
Gambar 4.3	Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap gaya potong .....	45
Gambar 4.4	Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan .....	48

Gambar 4.5	Morfologi permukaan benda kerja yang menunjukkan celah pada permukaan benda kerja. (a) kedalaman potong 0.01 mm, (b) kedalaman potong 0.06 mm .....	50
Gambar 4.6	Foto SEM <i>globules</i> pada permukaan benda kerja.....	51
Gambar 4.7	<i>Surface burning</i> pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , (a) kecepatan makan 150 mm/s, (b) kecepatan makan 200 mm/s, (c) kecepatan makan 250 mm/s .....	52
Gambar 4.8	<i>Surface burning</i> pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>green silicone</i> , (a) kecepatan makan 150 mm/s, (b) kecepatan makan 200 mm/s, (c) kecepatan makan 250 mm/s .....	52
Gambar 4.9	Spesimen pembanding temperatur penggerindaan baja DAC .....	53
Gambar 4.10	Area spesimen kombinasi 1.1.1 terbagi menurut warnanya .....	53
Gambar 4.11	Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap temperatur. ....	56
Gambar 4.12	Bidang geser dan geram yang dihasilkan pada kedalaman potong (a) rendah dan (b) besar .....	57
Gambar 4.13	Hasil foto SEM permukaan benda kerja hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm .....	59
Gambar 4.14	Hasil foto SEM permukaan benda kerja hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif <i>green silicone</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm .....	59
Gambar 4.15	Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm.....	60
Gambar 4.16	Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.....	61
Gambar 4.17	Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>aluminum oxide</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.....	61
Gambar 4.18	Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>green silicone</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm.....	63
Gambar 4.19	Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>green silicone</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.....	63

Gambar 4.20 Foto SEM geram dengan tipe abrasif <i>green silicone</i> , kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm .....	64
---	----

[Halamn ini sengaja dikosongkan]



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Material yang digunakan untuk alat potong, *dies*, *punch*, dan *mould* untuk injeksi, biasanya dipilih berdasarkan sifatnya yang keras dan tahan aus. Salah satu material yang sering dipakai adalah baja perkakas DAC (ekuivalen dengan SKD 61) yang telah dikeraskan. Persyaratan geometri, ukuran, dan kualitas permukaan umumnya lebih diperketat untuk alat-alat ini, sehingga agar memperoleh spesifikasi yang diharapkan dapat tercapai digunakanlah proses gerinda (Fathallah, 2009). Proses gerinda merupakan proses *finishing* dengan kecepatan penghasilan geram yang rendah, sehingga toleransi geometrik dengan rentang yang sempit dapat dicapai serta diperoleh permukaan benda kerja yang sangat halus. Proses gerinda dapat juga diaplikasikan untuk berbagai kekerasan material, bahkan material yang sudah dikeraskan sekalipun.

Proses gerinda menghasilkan gaya dan panas yang mempengaruhi integritas permukaan benda kerja (IPBK). Ada dua karakteristik dari IPBK, yaitu karakteristik topografi dan karakteristik lapisan permukaan. Karakteristik topografi terdiri dari kekasaran permukaan, gelombang dan kesalahan bentuk, sedangkan karakteristik lapisan permukaan yang dapat berubah selama proses pemesinan antara lain deformasi plastis, tegangan sisa, *surface burning* dan retak mikro. Peralatan seperti yang telah disebutkan diatas harus memiliki sifat-sifat permukaan yang baik agar menghasilkan benda kerja yang baik pula. IPBK paling utama dipengaruhi oleh pengaturan parameter proses gerinda, yaitu kedalaman potong, kecepatan potong dan kecepatan makan. Pengaturan parameter yang tidak tepat akan menghasilkan waktu pengerjaan yang relatif lebih lama atau hasil tidak sesuai dengan spesifikasi. Peningkatan kedalaman potong sering dilakukan agar mendapatkan waktu pengerjaan yang relatif lebih singkat, akan tetapi semakin besar kedalaman potong yang digunakan maka tingkat kekasaran permukaan benda kerja juga akan meningkat (Nguyen, 2003).





Pemilihan alat potong yang tepat dalam proses pemesinan merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan pengerjaan benda kerja. Alat potong dalam proses gerinda adalah batu gerinda. Batu gerinda harus dipilih dengan benar sesuai jenis, ukuran, dan disesuaikan dengan material yang dikerjakan. Batu gerinda terdiri atas serbuk abrasif dan perekat. Serbuk abrasif yang sering dipakai untuk pembuatan batu gerinda adalah: karbida, karbida silikon, alumunium oksida dan intan. Ukuran butiran (*grain size*) yang dimiliki oleh serbuk abrasif beragam sesuai dengan keperluan untuk proses *roughing* dan *finishing*, atau material yang mempunyai fungsi dan kekerasan berbeda. Selain serbuk abrasif, pemilihan jenis perekatan serbuk abrasif juga memiliki peranan dalam hasil proses gerinda benda kerja. Penggunaan material roda gerinda jenis alumunium oksida yang diproduksi dengan teknik *sol gel* (SG), akan meningkat *grindability* dan menurunkan tegangan sisa jika dibandingkan dengan material roda gerinda jenis alumunium oksida yang diproduksi dengan cara konvensional (Fathallah dkk., 2009). Material yang keras lebih cocok digerinda dengan menggunakan batu gerinda yang mempunyai kekuatan ikatan serbuk abrasif yang termasuk dalam kategori lunak. Proses gerinda seperti yang dijelaskan diatas akan membuat batu gerinda lebih cepat habis karena memprioritaskan hasil gerinda yang baik. Sebaliknya untuk material yang lunak, lebih cocok digerinda dengan menggunakan batu gerinda yang mempunyai kekuatan ikatan serbuk abrasif yang termasuk dalam kategori keras, sehingga batu gerinda akan lebih tahan lama dan kehalusan benda kerja akan relatif lebih baik. Pada prinsipnya, penggerindaan material yang keras perlu dijaga supaya temperaturnya tidak terlalu tinggi sehingga diperlukan batu gerinda dengan serbuk abrasif yang mudah terlepas atau kekuatannya rendah (Rochim, 1993). Pemilihan batu gerinda yang tidak tepat dapat mengakibatkan terjadinya gesekan dan panas berlebih, yang dapat mengakibatkan terjadinya cacat seperti *surface burning* atau retak mikro, untuk itu batu gerinda harus dipilih dengan baik sesuai dengan material dan kondisi proses penggerindaan.

Proses gerinda akan menghasilkan geram yang mempunyai beberapa bentuk. Bentuk geram yang terjadi utamanya dipengaruhi oleh material benda kerja, ukuran butir-butir abrasif (*grain*) batu gerinda, kecepatan makan dan



metode pendinginan yang digunakan (Dhar dkk., 2006). Performansi proses gerinda dapat dilihat dari mode pembentukan geram (MPG) melalui pengamatan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dan analisis terhadap geram yang terbentuk. Bentuk geram dari proses gerinda biasanya berbentuk *lamellar, spherical, leafy, blocky particles* dan tidak teratur.

Penelitian yang membahas mengenai pengaruh penggunaan jenis abrasif yang berbeda terhadap IPBK dan MPG pada proses gerinda permukaan telah dilakukan. Tipe abrasif dengan kekerasan yang tinggi mengakibatkan gaya potong bertambah besar, derajat burning meningkat, serta kekasaran permukaan semakin tinggi (Bisono, 2014). Berdasarkan hal yang telah dijelaskan, maka akan dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan tipe abrasif dan parameter proses gerinda, terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada proses gerinda permukaan baja perkakas DAC yang telah dikeraskan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan permasalahan yang dapat ditetapkan berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan adalah bagaimana pengaruh dari tipe abrasif dan variabel proses gerinda permukaan (kecepatan makan dan kedalaman potong) terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada material baja perkakas DAC yang telah dikeraskan.

### **1.2.1 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas getaran pada poros gerinda.
2. Hasil pengerasan material DAC dianggap homogen.
3. Tidak membahas komponen biaya pada proses pemesinan.
4. Tidak membahas pengaruh cairan pendingin secara kimiawi.
5. Foto retakan pada permukaan benda kerja diambil secara acak.



### **1.2.2 Asumsi Penelitian**

Asumsi-asumsi yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel-variabel proses/faktor–faktor yang tidak diteliti dianggap konstan dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap hasil penelitian.
2. Hasil pengerasan material dianggap homogen
3. Faktor interaksi tidak digunakan dalam penelitian ini.
4. Sifat mekanik dan komposisi kimia material yang digunakan adalah homogen.
5. Mesin bekerja dalam kondisi baik selama proses pemesinan.
6. Alat ukur yang digunakan selama proses pemesinan layak dan terkalibrasi.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan adalah mengetahui pengaruh dari tipe abrasif dan variabel proses gerinda permukaan (kecepatan makan dan kedalaman potong) terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada material baja perkakas DAC yang telah dikeraskan.

### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya untuk mengembangkan hubungan antara tipe abrasif dan variabel-variabel proses gerinda permukaan (kecepatan makan dan kedalaman potong), terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada proses penggerindaan material baja perkakas DAC yang dikeraskan.
2. Menambah database tentang penggunaan tipe abrasif yang berbeda pada proses gerinda permukaan material baja perkakas.
3. Meningkatkan pengetahuan tentang teknologi proses pemesinan gerinda permukaan untuk pembuatan komponen-komponen pemesinan yang presisi.



## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Proses Pemesinan Abrasif (*Abrasive Machining*)

Proses pemesinan abrasif merupakan suatu proses pengikisan material dengan menggunakan partikel-partikel serbuk abrasif yang keras. Proses pemesinan abrasif terbagi menjadi dua, yaitu proses pemesinan abrasif terikat dan tidak terikat (Schey, 2000). Pada proses abrasif terikat, partikel-partikel abrasif saling direkatkan dengan perekatan tertentu, sedangkan pada proses abrasif tidak terikat, partikel-partikel abrasif tidak direkatkan. Contoh dari proses pemesinan abrasif adalah proses gerinda (permukaan, silindris, internal), poles, *water jet cutting* dan *abrasif jet cutting*.

#### 2.2 Proses Gerinda

Proses pemesinan seringkali tidak mampu menghasilkan benda kerja dengan tingkat kekasaran atau akurasi dimensi yang diharapkan. Ada banyak faktor yang menjadi penyebabnya, misalnya material yang dikerjakan terlalu keras atau terlalu getas seperti bola dan rol bantalan, piston, poros engkol, roda gigi, alat potong dan cetakan. Salah satu proses yang umum digunakan untuk menghasilkan benda kerja dengan karakteristik tertentu diatas adalah dengan proses gerinda. Proses gerinda termasuk dalam proses pemesinan abrasif terikat, yang biasanya sering digunakan untuk proses *finishing*. Proses ini merupakan proses pelepasan material dengan menggunakan pahat yang berupa batu gerinda berbentuk piringan (*grinding wheel/disk*), yang dibuat dari campuran serbuk abrasif dan bahan pengikat dengan komposisi dan struktur tertentu (Rochim, 1993).

Batu gerinda yang dipasang pada poros utama berputar dengan kecepatan periferfial tertentu tergantung pada diameter batu gerinda dan putarannya. Kecepatan periferfial pada tepi batu gerinda dapat dihitung dengan rumus berikut (Rochim, 1993).

$$v_s = \frac{\pi d_s n_s}{60 \ 000} \text{ m/s} \quad (2.1)$$



Dengan:

$v_s$  : kecepatan periferan batu gerinda; (m/s)

$d_s$  : diameter batu gerinda; (mm)

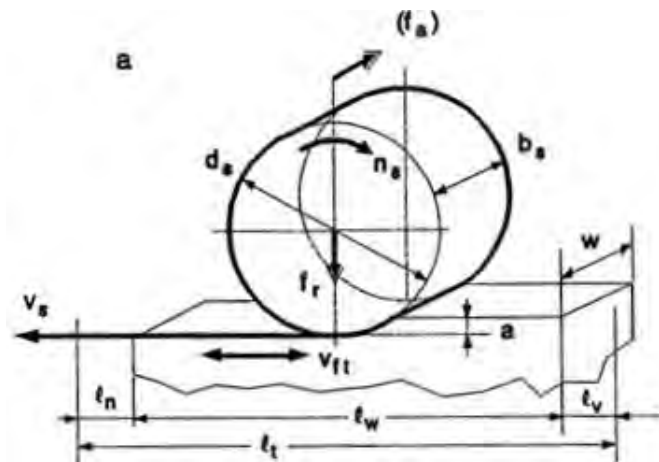
$n_s$  : putaran batu gerinda; (r/min)

Proses gerinda dapat menghasilkan kekasaran permukaan produk yang rendah, serta mampu mencapai toleransi geometrik yang sempit dengan cara yang mudah. Selain itu, proses gerinda dapat digunakan untuk menghaluskan dan meratakan benda kerja yang telah dikeraskan, yang sulit dilakukan apabila menggunakan proses pemesinan yang lain seperti bubut, frais, ataupun sekrap.

Proses gerinda secara garis besar digolongkan menjadi 2 jenis, berdasarkan pada bentuk permukaan yang dihasilkan, (Rochim, 1993), yaitu:

1. Proses gerinda silindrik (*cylindrical grinding*), yaitu proses gerinda yang menghasilkan permukaan benda kerja berbentuk silindrik, dan
2. Proses gerinda permukaan (*surface grinding*), yaitu proses gerinda yang menghasilkan permukaan benda kerja yang rata/datar.

Proses gerinda permukaan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan. Parameter proses gerinda tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses gerinda permukaan (Rochim, 1993)

Dengan:

$l_t$  : jarak gerak melintang; (mm)

$l_w$  : panjang penggerindaan benda kerja; (mm)

$l_n$  : panjang langkah pengakhiran; (mm)



- $l_v$  : panjang langkah pengawalan; (mm)  
 $f_a$  : gerak makan aksial; (mm/langkah)  
 $f_r$  : gerak makan radial; (mm/langkah)  
 $d_s$  : diameter batu gerinda; (mm)  
 $b_s$  : lebar batu gerinda; (mm)  
 $n_s$  : putaran batu gerinda; (r/min)  
 $a$  : kedalaman potong; (mm)  
 $w$  : lebar benda kerja; (mm)  
 $v_{ft}$  : Kecepatan makan tangensial; (mm/s)

### 2.3 Batu Gerinda

Batu gerinda memegang peranan utama sebagai alat potong dalam proses gerinda. Batu gerinda harus dipilih dengan seksama berdasarkan bentuk, dimensi dan jenisnya supaya proses gerinda dapat dilaksanakan dengan baik. Pemilihan batu gerinda dapat dilakukan berdasarkan pada *International Organization for Standardization* (ISO) 525-1999. Berdasarkan ISO 525-1999, setiap batu gerinda memiliki kode tertentu yang berisi informasi mengenai spesifikasi dari batu gerinda dalam bentuk serangkaian huruf dan angka. Bentuk umum dari kodifikasi batu gerinda berdasarkan ISO dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Contoh kodifikasi batu gerinda berdasarkan ISO 525-1999

Urutan spesifikasi	0	1	2	3	4	5	6	7
Contoh	51	A	36	L	5	V	23	50

Dimana,

0. Spesifikasi serbuk abrasif: sesuai dengan klasifikasi lebih lanjut dari pabrik pembuat.
1. Jenis serbuk abrasif: dimana jenis serbuk abrasif yang sering dipakai adalah *aluminum oxide*, *silicon carbide*, *cubic boron nitride* (CBN) dan *diamond*.
2. Ukuran *grit*: dimana angka yang besar menunjukkan bahwa ukuran serbuknya kecil. Ukuran grit berdasarkan ISO dapat dilihat pada Tabel 2.2.





Tabel 2.2 Ukuran grit

<i>Macrogrits</i>			<i>Microgrits</i>
Kasar	Sedang	Halus	Sangat Halus
4	30	70	230
5	36	80	240
6	40	90	280
7	46	100	320
8	54	120	360
10	60	150	400
12	-	180	500
14		220	600
16		-	800
20			1000
22			1200
24			-

Sumber: ISO 525-1999

3. Nilai kekerasan batu gerinda atau kekuatan ikatan serbuk abrasif: dimana nilai kekerasan diidentifikasi oleh urutan huruf dari A hingga Z secara berurutan dengan tingkat kekerasan makin tinggi. Berdasarkan ISO, nilai kekerasan batu gerinda dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai kekerasan batu gerinda

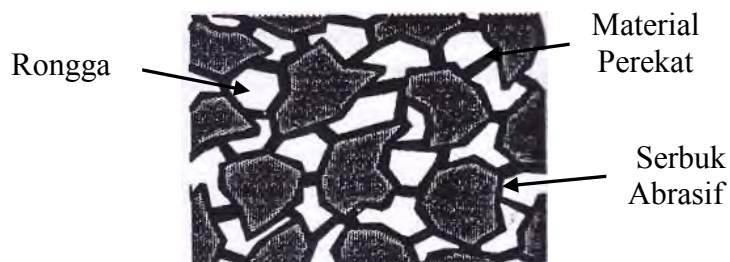
A	B	C	D	<i>Extremely soft</i>
E	F	G	-	<i>Very soft</i>
H	I	J	K	<i>Soft</i>
L	M	N	O	<i>Medium</i>
P	Q	R	S	<i>Hard</i>
T	U	V	W	<i>Very hard</i>
X	Y	Z	-	<i>Extremely hard</i>

Sumber: ISO 525-1999

4. Struktur batu gerinda: yang menyatakan kerapatan atau konsentrasi serbuk abrasif persatuan luas. Struktur dalam batu gerinda terdiri dari butiran abrasif, bahan pengikat dan pori-pori. Struktur tersebut diidentifikasi dengan menggunakan angka 0 sampai 30. Angka yang kecil menunjukkan bahwa batu gerinda mempunyai kerapatan serbuk yang tinggi. Ilustrasi



struktur dari batu gerinda dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur batu gerinda (Rochim, 1993)

5. Jenis bahan pengikat serbuk abrasif: berdasarkan ISO jenis bahan pengikat diidentifikasi pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Jenis bahan pengikat

V	<i>Vitrified bond</i>
R	<i>Rubber bond</i>
RF	<i>Reinforced rubber bond</i>
B	<i>Resinoid and other thermosetting organic bonds</i>
BF	<i>Resinoid bond fiber reinforced</i>
E	<i>Shellac bond</i>
MG	<i>Magnesite Bond</i>
PL	<i>Plastic Bond</i>

Sumber: ISO 525-1999

6. Spesifikasi bahan pengikat: yang berupa angka dan hanya dicantumkan bila perlu, sesuai dengan jenis dan modifikasi yang dilakukan oleh pabrik pembuat.
7. Kecepatan perifer maksimum batu gerinda: dengan satuan m/s.

## 2.4 *Balancing dan Dressing*

Pemasangan dan perakitan batu gerinda harus seimbang, karena apabila tidak seimbang dapat mengakibatkan hasil permukaan yang kurang halus dan mempercepat kerusakan pada bantalan mesin gerinda. Pemasangan batu gerinda yang tidak seimbang dapat menyebabkan batu gerinda pecah saat terjadi putaran yang tinggi, sehingga membahayakan bagi operator dan dapat merusak benda kerja atau mesin. Proses *balancing* dapat dilakukan pada kecepatan putaran batu gerinda yang rendah dan akurasi menengah, dengan



cara statis menggunakan spindle tiruan, yang memungkinkan untuk memutar dan mengetahui posisi seimbang batu gerinda (Rowe, 2009).

Batu gerinda yang dipakai terus menerus, semakin lama akan semakin tumpul sehingga dapat mengakibatkan proses penggerindaan menjadi tidak optimal. Batu gerinda yang tumpul dapat dilakukan proses *dressing* agar proses gerinda menjadi optimal kembali. Proses *dressing* mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut:

- Untuk memperoleh sisi potong yang tajam dan menyeluruh pada ujungnya.
- Untuk mengikis perekat disekitar serbuk abrasif, sehingga serbuk abrasif lebih terbuka pada permukaan batu gerinda.
- Untuk mengikis lapisan batu gerinda yang memuat material benda kerja (Rowe, 2009).

## 2.5 Cairan Pendingin

Cairan pendingin berfungsi sebagai pendingin alat potong maupun benda kerja, pembersih/pembawa geram (terutama dalam proses gerinda) dan melumasi elemen pembimbing (*ways*) mesin perkakas, serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi. Selain itu, cairan pendingin mampu memperpanjang umur pahat dan memperhalus permukaan produk hasil pemesinan (Rochim, 1993). Cairan pendingin juga dapat mengurangi adanya cacat seperti *surface burning* dan retakan yang dihasilkan dari panas yang terjadi ada proses gerinda. Panas yang terjadi pada saat proses gerinda permukaan diserap oleh cairan pendingin sehingga tingkat distribusi panas yang terjadi selama proses gerinda permukaan berkurang. Cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses pemesinan dapat dikategorikan dalam empat jenis utama (Rochim, 1993), yaitu:

### 1. Cairan Sintetik (*Synthetic Fluids*)

Cairan sintetik adalah cairan jernih yang dibuat dengan melarutkan *borat*, *nitrit*, *nitrat* atau *fosfat* ke dalam air. Larutan ini tidak bersifat melumasi dan dipakai untuk penyerapan panas yang tinggi. Cairan sintetik merupakan cairan dengan penyerapan panas yang terbaik diantara semua cairan pendingin.



## 2. Cairan Emulsi (*Soluble Fluids*)

Cairan emulsi adalah cairan minyak dengan unsur pengemulsi yang dicampur dengan air. Cairan emulsi mempunyai daya lumas dan penyerapan terhadap panas yang baik. Unsur pengemulsi yang dipakai adalah sabun yang berupa *amine soaps*, *rosin soaps* atau *naphthenic acids*.

## 3. Cairan Semi Sintetik (*Semi Synthetic Fluids*)

Cairan semi sintetik adalah cairan pendingin kombinasi antara cairan sintetik dan cairan emulsi, sehingga memiliki karakteristik keduanya. Cairan semi sintetik mempunyai daya pendingin yang baik dan bahan dasar pembentuknya dapat bercampur dengan air.

## 4. Minyak Murni (*Straight Oils*)

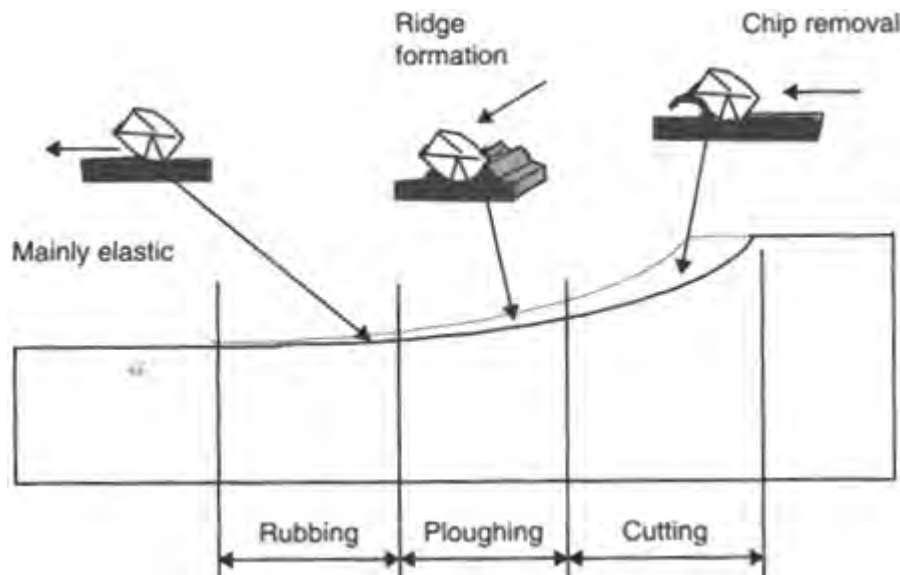
Minyak murni adalah cairan pendingin yang dibuat dari minyak. Cairan ini tidak dapat diemulsikan dan digunakan pada proses pemesinan dalam bentuk yang sudah diencerkan. Cairan minyak dapat berupa salah satu atau gabungan minyak bumi, minyak hewani dan minyak nabati. Viskositas dari minyak murni dapat bermacam-macam, dari yang encer sampai dengan yang kental tergantung dari pemakaiannya.

### 2.6 Mekanisme Pembentukan Geram (MPG)

Mekanisme pembentukan geram dalam proses gerinda permukaan sama seperti mekanisme pembentukan geram pada proses pemesinan konvensional yang lain. Pada proses pemesinan gerinda permukaan, masing-masing butiran abrasif dari batu gerinda bertindak seperti miniatur pahat potong. Geometri dan orientasi dari butiran abrasif ini bersifat acak dan ketika proses gerinda permukaan berlangsung tidak semua butiran abrasif memotong benda kerja. Dalam proses gerinda permukaan ada tiga tipe aksi dari butiran abrasif yaitu, *cutting*, *ploughing* dan *rubbing*. *Cutting* adalah kondisi dimana butiran abrasif cukup panjang untuk menyentuh benda sehingga memungkinkan proses pemotongan terjadi. *Ploughing* adalah kondisi dimana butiran abrasif menyentuh benda kerja tetapi tidak cukup panjang. Hal ini mengakibatkan permukaan benda kerja terdeformasi, tetapi tidak terjadi pemotongan. *Rubbing* adalah kondisi dimana butiran abrasif menyentuh permukaan benda kerja. Permukaan benda



kerja tidak terdeformasi dan tidak terjadi pemotongan. Dalam kondisi ini butiran abrasif dan permukaan benda kerja hanya bergesekan. Ilustrasi ketiga kondisi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3.



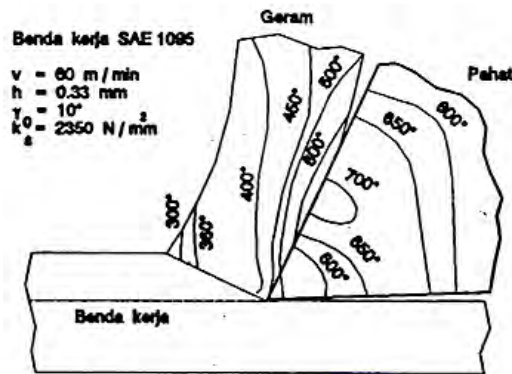
Gambar 2.3 Tiga tipe aksi dari butiran abrasif: (a) *Cutting* (b) *Ploughing* (c) *Rubbing* (Rowe, 2009)

Ketika kondisi *cutting* pada proses gerinda permukaan terjadi, permukaan benda kerja mendapat tekanan yang akan menimbulkan konsentrasi tegangan di daerah sekitar titik penekanan mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja tersebut mempunyai orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser yang maksimum. Apabila tegangan geser ini melebihi *yield point* benda kerja, maka akan terjadi deformasi plastis yang menggeser dan memutuskan benda kerja diujung pahat pada suatu bidang geser.

Hampir seluruh energi pemotongan diubah menjadi panas melalui proses gesekan, antara geram dengan pahat dan antara pahat dengan benda kerja, serta proses perusakan molekular atau ikatan atom pada bidang geser (Rochim, 1993). Prosentase panas yang terbawa geram sangat tinggi tidaklah berarti bahwa temperatur geram menjadi lebih tinggi daripada temperatur pahat. Panas yang mengalir bersama geram selalu terbentuk dengan kecepatan tertentu, sedangkan panas pada pahat terjadi secara konduksi yang dipengaruhi oleh konduktivitas material pahat dan penampang pahat yang relatif kecil. Ilustrasi temperatur rata-

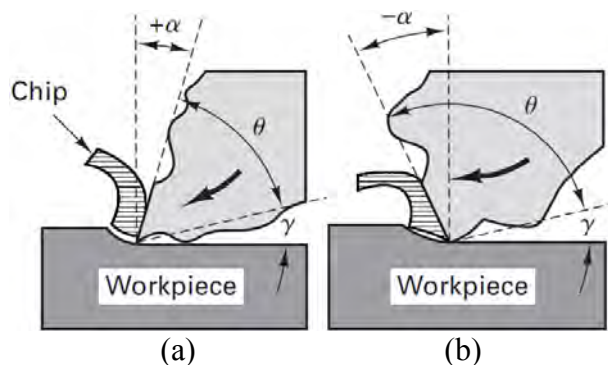


rata yang terjadi pada saat pemotongan benda kerja dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Garis-garis isoterm pada geram pada waktu pemotongan berlangsung (Rochim, 1993)

Temperatur yang terjadi pada pahat seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 menunjukkan nilai yang lebih besar akibat akumulasi panas hasil perpindahan panas secara konduksi dari geram menuju pahat. Hal yang seperti ini tidak terjadi pada proses penggerindaan karena butiran abrasif pada permukaan roda gerinda masing-masing berfungsi sebagai pahat potong dan proses pemotongan yang terjadi tidak berlangsung secara terus-menerus seperti pada proses gurdi, frais, ataupun bubut. Temperatur yang terjadi pada butiran abrasif batu gerinda tidak sama dengan temperatur hasil pemotongan seperti diatas karena ada jeda waktu butiran abrasif bergesekan dengan geram hasil pemotongan. Sudut geram pada butiran abrasif batu gerinda bersifat acak dan tersebar diseluruh permukaan batu gerinda. Ilustrasi geometri pahat dengan sudut geram positif dan negatif ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Geometri pahat dengan sudut geram (a) positif dan (b) negatif (Black dan Kohser, 2008)





Sistem gaya pada proses gerinda permukaan mempunyai prinsip yang sama dengan proses pemesinan konvensional yang lain. Berdasarkan teori Merchant, sistem gaya dipandang hanya pada satu bidang, sehingga gaya total dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya yang saling tegak lurus. Penguraian gaya dalam hal ini dapat dikemukakan dalam tiga cara (Rochim, 1993), yaitu:

1. Gaya total ( $F$ ) yang jika ditinjau dari proses deformasi material dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

$F_s$  : gaya geser yang mendeformasikan material pada suatu bidang geser sehingga melampaui batas elastis.

$F_{sn}$  : gaya normal pada bidang geser yang menyebabkan pahat tetap menempel pada benda kerja.

2. Gaya total ( $F$ ) dapat diketahui arah dan besarnya dengan menggunakan dinamometer. Komponen gaya yang diukur adalah:

$F_v$  : gaya potong, searah dengan kecepatan potong.

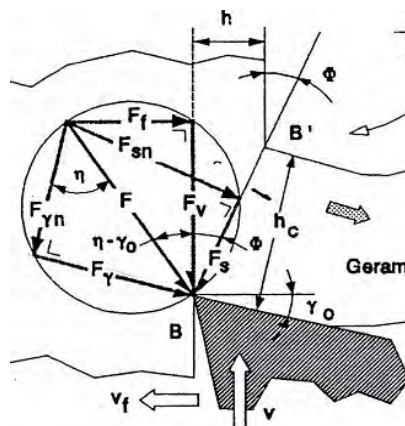
$F_f$  : gaya makan, searah dengan kecepatan makan.

3. Gaya total ( $F$ ) yang bereaksi pada bidang geram dan dapat diuraikan menjadi dua komponen, yaitu:

$F_\gamma$  : gaya gesek pada bidang geram.

$F_{\gamma n}$  : gaya normal pada bidang geram.

Karena berasal dari satu gaya, yaitu gaya total ( $F$ ), maka Merchant membuat suatu ilustrasi dimana gaya-gaya tersebut digambarkan pada suatu lingkaran dengan diameter yang sama dengan gaya total. Gambar 2.6 menunjukkan lingkaran gaya pemotongan pada sudut geram positif.



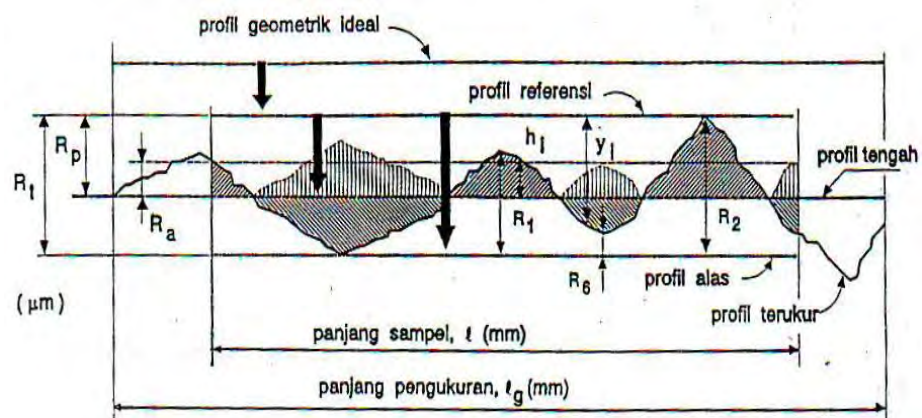
Gambar 2.6 Lingkaran gaya pemotongan (Rochim, 1993)



## 2.7 Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK)

### 2.7.1 Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Kekasaran permukaan didefinisikan sebagai ketidakaturan konfigurasi permukaan pada suatu benda atau bidang. Hal ini terjadi karena terjadinya berbagai penyimpangan selama proses pemesinan, sehingga permukaan yang mempunyai bentuk sempurna tidak dapat dibuat. Posisi  $R_a$ , bentuk profil, panjang sampel dan panjang pengukuran yang dibaca oleh alat ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Parameter dalam profil permukaan (Rochim, 2001)

Keterangan Gambar 2.7 adalah sebagai berikut:

a. Profil Geometris Ideal (*Geometrically Ideal Profile*)

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh karena banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran dan garis lengkung.

b. Profil Referensi/Acuan/Puncak (*Reference Profile*)

Profil ini digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakaturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometrik ideal, serta menyinggung puncak tertinggi profil terukur dalam suatu panjang sampel.

c. Profil Terukur (*Measured Profile*)

Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan terukur.



d. Profil Alas (*Root Profile*)

Profil alas adalah profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung pada titik paling terendah profil terukur.

e. Profile Tengah (*Center Profile*)

Profil tengah merupakan profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah diatas profil tengah sampai profil terukur sama dengan jumlah luas daerah-daerah dibawah profil tengah sampai profil terukur.

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan diatas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah memanjang/ mendatar. Untuk dimensi arah tegak dikenal beberapa parameter, yaitu:

a. Kekasaran Total ( $R_t$ )

Kekasaran total adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.

b. Kekasaran Perataan ( $R_p$ )

Kekasaran perataan adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_i dx \quad (2.2)$$

c. Kekasaran Rata-rata Aritmatik ( $R_a$ )

Kekasaran rata-rata aritmatik adalah harga rata-rata jarak antara profil terukur dengan profil tengah. Secara umum  $R_a$  dirumuskan:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_i| dx \quad (2.3)$$

Harga  $R_a$  tersebut dapat didekati oleh persamaan:

$$R_a = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n |h_i| \quad (2.4)$$

$$R_a = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{l} \quad (2.5)$$



Dengan:

$R_a$  : nilai kekasaran aritmatika.

$h_n$  : tinggi atau dalam bagian-bagian profil hasil pengukuran jarum peraba.

$n$  : frekuensi pengukuran.

$l$  : panjang sampel yang telah ditentukan.

Dari bermacam-macam parameter permukaan yang disebutkan diatas, parameter  $R_a$  relatif lebih banyak digunakan untuk mengidentifikasi permukaan. Hal ini disebabkan harga  $R_a$  lebih sensitif terhadap perubahan/penyimpangan yang terjadi pada proses pemesinan. Dengan demikian, jika ada tanda-tanda kenaikan kekasaran maka pencegahan dapat cepat dilakukan.

ISO telah mengklasifikasikan nilai kekasaran rata-rata aritmetik ( $R_a$ ) menjadi 12 tingkat kekasaran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5. Angka kekasaran permukaan ini bertujuan untuk menghindari kemungkinan terjadinya kesalahan dalam menginterpretasikan satuan harga kekasaran permukaan. Dengan adanya satuan harga ini, kekasaran permukaan dapat dituliskan langsung dengan menyatakan harga  $R_a$  atau dengan menggunakan tingkat kekasaran ISO.

Tabel 2.5 Angka kekasaran dan panjang sampel standar

$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)	Keterangan
50 25	N12 N11	8	Sangat kasar
12,5 6,3	N10 N9	2,5	Kasar
3,2 1,6	N8 N7	0,8	Normal
0,2 0,1	N4 N3	0,25	Halus
0,025	N1	0,08	Sangat halus

Sumber: Rochim, 2001

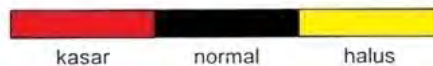
Beberapa nilai contoh kekasaran yang dapat dicapai oleh beberapa cara pengerjaan ditunjukkan pada Tabel 2.6.



Tabel 2.6 Nilai Kekasaran yang Dicapai Oleh Beberapa Pengerjaan

Cara Pengerjaan	Ra dalam mikrometer																
	200	100	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025	0.012	5	
Flame Cutting																	
S a w i n g																	
Abrasive Cutting																	
Shearing, fine blanking																	
Sand Blasting																	
Ball Blasting																	
Turning																	
Superfine Turning																	
Planning, Shapping																	
Drilling, Boring																	
Countersinking																	
Reaming																	
Face Milling																	
Peripheral Milling																	
Broaching																	
Scraping																	
Face Grinding																	
Peripheral Grinding																	
Plain Grinding																	
H o n i n g																	
Superfinish																	
Plain Lapping																	
Round Lapping																	
Polishing																	
Spark Erosion																	

Keterangan :



Sumber: Rochim, 2001

Keterangan:

Kasar : nilai kekasaran permukaan yang dicapai dengan pengerjaan kasar.

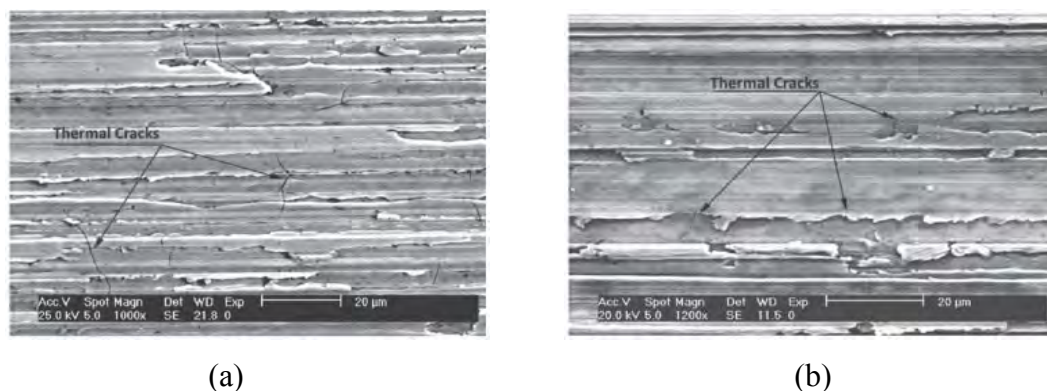
Normal : nilai kekasaran permukaan yang dicapai dengan pengerjaan normal.

Halus : nilai kekasaran permukaan yang dicapai dengan pengerjaan khusus.



### 2.7.2 Retak Mikro

Retak mikro merupakan salah satu aspek dari IPBK. Gambar 2.8 menunjukkan foto SEM retakan yang terjadi pada baja AISI D2.



Gambar 2.8 Foto SEM retakan pada baja AISI D2 hasil proses gerinda permukaan (a) retakan yang terjadi pada benda kerja yang menggunakan batu gerinda *alluminum oxide* (b) retakan yang terjadi pada benda kerja yang menggunakan batu gerinda *sol-gel* (Fathallah dkk., 2009).

Adanya retakan akan menyebabkan peralatan-peralatan hasil proses gerinda permukaan tidak dapat berfungsi dengan baik. Pada proses pemesinan gerinda permukaan, retakan yang terjadi pada benda kerja disebabkan oleh faktor kedalaman potong (Fathallah dkk., 2009). Selain itu, tipe abrasif, metode pendinginan yang digunakan dan konduktivitas termal yang dimiliki oleh batu gerinda juga mempengaruhi terjadinya retakan.

Jika suatu permukaan benda kerja hasil proses penggerindaan diamati lebih lanjut, maka morfologi permukaan menunjukkan bahwa parameter-parameter proses gerinda permukaan yang berbeda menyebabkan kepadatan-kepadatan retakan permukaan yang berbeda. Retakan permukaan adalah salah satu sumber yang potensial untuk terjadinya kegagalan komponen, sehingga diperlukan pengkualifikasian derajat dari retakan dengan menggunakan standar yang bersifat objektif. Pengkualifikasian dengan cara mengestimasi lebar, panjang atau kedalaman retakan atau bahkan jumlah dari retakan, tidak mudah untuk dilakukan. Oleh karena itu, Lee dan Tai (2003) mendefinisikan suatu kepadatan retakan permukaan sebagai rasio antara panjang retakan keseluruhan di penampang yang





diamati dengan luas penampang yang diamati, untuk mengevaluasi seberapa parah keretakan yang terjadi. Dengan demikian, kepadatan retakan permukaan (KRP) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{KRP} = \frac{\text{Panjang retakan keseluruhan di penampang yang diamati}}{\text{luas penampang yang diamati}} \frac{[\mu\text{m}]}{[\mu\text{m}^2]} \quad (2.6)$$

### 2.7.3 *Surface Burning*

*Surface burning* merupakan salah satu kerusakan termal yang terjadi selama proses gerinda permukaan. Hal ini terjadi pada area gesekan antara batu gerinda dengan permukaan benda kerja dimana pada area ini temperatur naik sangat tinggi. *Surface burning* ditandai dengan perubahan warna dari permukaan benda kerja hasil proses gerinda. Secara visual perubahan warna yang terjadi adalah warna biru kemerah-merahan. Perubahan warna yang terjadi ini seringkali terjadi tanpa disertai adanya kerusakan secara metalurgi. Tetapi hal ini merupakan indikator bahwa kerusakan termal telah terjadi dan jika tidak dikendalikan dengan benar maka akan terjadi kerusakan permukaan yang lebih lanjut. *Surface burning* disebabkan karena lapisan permukaan yang tipis pada benda kerja teroksidasi dan juga metode pendinginan yang kurang tepat. Selain itu, komposisi kimia, perlakuan panas dan bentuk dari material juga berpengaruh terhadap fenomena *surface burning*.

## 2.8 Keausan Pada Proses Gerinda Permukaan

Pada proses gerinda permukaan, keausan merupakan suatu hal yang tidak bisa dihindari. Keausan terjadi baik terhadap batu gerinda maupun material benda kerja. Ada beberapa jenis keausan yang terjadi selama proses gerinda permukaan (Rochim, 1999), antara lain:

### 1. *Adhesive Wear*

Keausan adhesif adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat dan berpindahnya partikel dari suatu permukaan material yang lunak ke material yang lebih keras. Proses ini bermula ketika benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lunak dan diikuti dengan terjadinya pengikatan. Pengikatan ini terjadi secara spontan dan pada suhu



yang rendah. *Abrasive Wear*. Keausan abrasif disebabkan oleh hilangnya material dari permukaan benda kerja oleh material lain yang lebih keras. Ada dua kategori keausan ini, yaitu:

#### 2. *Two body abrasion*

Keausan ini disebabkan oleh hilangnya material karena proses *cutting* oleh material yang keras terhadap material yang lunak. Hal ini menyebabkan material yang lunak akan terabrasi.

#### 3. *Three body abrasion*

Keausan jenis ini disebabkan oleh *adhesive wear*, sehingga serpihan hasil gesekan yang terbentuk (*debris*) mengeras serta ikut berperan dalam hilangnya material karena proses gesekan yang terjadi secara berulang-ulang. Jadi pengertian *three body* disini adalah dua material yang saling bergesekan dan sebuah benda serpihan hasil gesekan. *Debris* berasal dari serpihan logam yang teradhesi pada permukaan pahat potong, kemudian serpihan ini akan menggaruk permukaan pelat, sehingga terjadilah keausan secara abrasif.

#### 4. *Surface fatigue wear*

Keausan lelah pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara abrasif atau adhesif. Tetapi keausan jenis ini terjadi secara berulang-ulang dan periodik. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan geser.

#### 5. *Tribo chemical wear*

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antara proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, proses oksidasi yang terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam. Proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan akan menyebabkan korosi pada logam.

## 2.9 Langkah-Langkah dalam Desain Eksperimen

Desain eksperimen memerlukan tahap-tahap penting yang berguna agar eksperimen mengarah pada hasil yang diinginkan. Berikut adalah langkah-langkah melakukan desain eksperimen (Iriawan dan Astuti, 2006):



### 1. Mengenali Permasalahan

Tahap awal desain eksperimen dimulai dengan melakukan identifikasi permasalahan sehingga kita dapat memperoleh suatu kesimpulan yang dapat menjawab segala permasalahan. Dari permasalahan yang ada kemudian dibuat suatu pernyataan yang tepat mewakili permasalahan agar memperoleh penyelesaian yang tepat.

### 2. Memilih Variabel Respon

Tahap kedua adalah menetapkan variabel respon. Variabel respon merupakan variabel dependen, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh level faktor.

### 3. Menentukan Faktor dan Level

Peneliti harus pula menentukan cara mengendalikan faktor dan cara mengukurnya. Tahap ini memerlukan pengetahuan yang lebih mengenai permasalahan yang akan diteliti agar faktor dan level yang ditentukan tidak menyimpang jauh dari hasil yang diinginkan.

### 4. Memilih Metode Desain Eksperimen

Metode desain eksperimen harus disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Beberapa metode desain eksperimen antara lain desain faktorial, desain taguchi, dan permukaan respon.

### 5. Melaksanakan Percobaan

Saat eksperimen dilakukan, proses harus kita diamati dengan cermat agar eksperimen berjalan sesuai dengan yang direncanakan.

### 6. Menganalisis Data

Analisis data pada desain eksperimen dilakukan sesuai dengan metode yang dibuat. Salah satu tahap dalam analisis data eksperimen adalah melakukan analisis residual dan uji kecukupan model. Analisis data dalam desain eksperimen digunakan sebagai dasar membuat suatu keputusan dan pernyataan yang tepat.



## 7. Membuat Suatu Keputusan

Setelah analisis data dilakukan, langkah terakhir adalah membuat suatu keputusan berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

### 2.10 Desain Faktorial

Desain faktorial merupakan percobaan yang terdiri dari 2 faktor atau lebih yang masing-masing faktor mempunyai level-level tertentu. Semua kemungkinan kombinasi pada tiap-tiap level dari semua faktor, diambil pada setiap unit percobaan. Pelaksanaannya percobaan faktorial harus dilakukan secara acak untuk mengurangi bias pada hasil percobaan yang diperoleh. Percobaan yang didasarkan pada desain factorial, memungkinkan peneliti untuk mempelajari pengaruh setiap faktor terhadap variabel respon, serta efek dari interaksi antara faktor-faktor pada variabel respon (Bhattacharyya dan Johnson, 1977). Percobaan desain faktorial dengan tiga faktor A, B dan C yang masing masing mempunyai 2, 3, dan 3 level ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Rancangan penelitian desain faktorial

Faktor			Respon	
A	B	C	Replikasi 1	Replikasi 2
Level 1	Level 1	Level 1	$Y_{1111}$	$Y_{1112}$
		Level 2	$Y_{1121}$	$Y_{1122}$
		Level 3	$Y_{1131}$	$Y_{1132}$
	Level 2	Level 1	$Y_{1211}$	$Y_{1212}$
		Level 2	$Y_{1221}$	$Y_{1222}$
		Level 3	$Y_{1231}$	$Y_{1232}$
	Level 3	Level 1	$Y_{1311}$	$Y_{1312}$
		Level 2	$Y_{1321}$	$Y_{1322}$
		Level 3	$Y_{1331}$	$Y_{1332}$
Level 2	Level 1	Level 1	$Y_{2111}$	$Y_{2112}$
		Level 2	$Y_{2121}$	$Y_{2122}$
		Level 3	$Y_{2131}$	$Y_{2132}$
	Level 2	Level 1	$Y_{2211}$	$Y_{2212}$
		Level 2	$Y_{2221}$	$Y_{2222}$
		Level 3	$Y_{2231}$	$Y_{2232}$
	Level 3	Level 1	$Y_{2311}$	$Y_{2312}$
		Level 2	$Y_{2321}$	$Y_{2322}$
		Level 3	$Y_{2331}$	$Y_{2332}$



## 2.11 Analisis Data

Data hasil eksperimen dikumpulkan dan dipilah agar dapat mempermudah dalam perhitungan dan pengujian data statistik. Analisis data hasil eksperimen menggunakan analisis variansi melalui uji distribusi F.

### 1. Analisis Variansi (ANAVA)

ANAVA merupakan metode yang dikembangkan oleh Ronald Fisher pada tahun 1930. ANAVA digunakan sebagai alat pengambilan keputusan berdasarkan perbedaan kontribusi dari masing-masing faktor yang diujicobakan (Ross, 2008). ANAVA pada matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. ANAVA dua arah digunakan untuk menganalisis data percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih dengan dua level atau lebih. Perhitungan ANAVA dua arah ditunjukkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Tabel analisis variansi (ANAVA) dua arah

Sumber	<i>Sum of Square (SS)</i>	d.f. (v)	<i>Mean Square</i>	<i>F<sub>Ratio</sub></i>
Faktor A	$SS_A = pr \sum_{i=1}^p (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2$	$p - 1$	$MS_A$	$\frac{MS_A}{MSE}$
Faktor B	$SS_B = qr \sum_{j=1}^q (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2$	$q - 1$	$MS_B$	$\frac{MS_B}{MSE}$
Interaksi A x B	$SS_{AB} = r \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2$	$(p - 1)(q - 1)$	$MS_{AB}$	$\frac{MS_{AB}}{MSE}$
Error	$SSE = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r (y_{ijk} - \bar{y}_{ij.})^2$	$pq(r - 1)$	$MSE$	
Total	$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2$	$pqr - 1$		

Sumber: Bhattacharyya dan Johnson, 1977



Keterangan:

d.f. = derajat kebebasan

SS = jumlah kuadrat tengah (*mean of square*,

MS = rata-rata jumlah kuadrat

p = banyaknya level pada faktor A

q = banyaknya level pada faktor B

r = banyaknya replikasi

## 2. Uji Distribusi F

Pengujian uji distribusi F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan oleh masing-masing faktor dan *error*. Variansi *error* adalah variansi dari setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (Soejanto, 2009). Secara umum, hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini untuk faktor yang tidak diambil secara random (*fixed*) adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

$H_1$  : sedikitnya ada satu pasangan  $\mu$  yang tidak sama

Kegagalan menolak  $H_0$  mengindikasikan tidak adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon yang dihasilkan pada perlakuan yang berbeda, sedangkan penolakan  $H_0$  mengindikasikan adanya perbedaan rata-rata dari nilai respon tersebut. Selain itu, respon pada setiap eksperimen dapat dimodelkan dalam bentuk (Montgomery, 1991):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \varepsilon_{ijkm}, \quad (2.7)$$

Dengan demikian, hipotesis yang juga dapat digunakan dalam pengujian ini adalah:

Untuk taraf faktor A  $\rightarrow H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_i = 0$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\alpha_i \neq 0$

Untuk taraf faktor B  $\rightarrow H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_j = 0$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\beta_j \neq 0$

Untuk taraf faktor C  $\rightarrow H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_k = 0$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\tau_k \neq 0$



Kegagalan menolak  $H_0$  mengindikasikan tidak adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon serta tidak ada interaksi antara faktor A dengan faktor B, sedangkan penolakan  $H_0$  mengindikasikan adanya pengaruh faktor A dan faktor B terhadap respon serta adanya interaksi antara faktor A dengan faktor B. Kegagalan menolak atau penolakan  $H_0$  berdasarkan pada nilai  $F_{hitung}$  yang dirumuskan:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E} \quad (2.8)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \rightarrow F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E} \quad (2.9)$$

Kegagalan menolak  $H_0$  pada masing-masing kasus dilakukan jika mengalami kondisi berikut:

$$\text{Untuk taraf faktor A} \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, v_A, v_E} \quad (2.10)$$

$$\text{Untuk taraf faktor B} \rightarrow F_{hitung} < F_{\alpha, v_B, v_E} \quad (2.11)$$

Bila menggunakan perangkat lunak statistik, kegagalan menolak  $H_0$  dilakukan jika  $P_{value}$  lebih besar daripada  $\alpha$  (taraf signifikansi). Kegagalan menolak  $H_0$  bisa juga dilakukan apabila nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$  (Park, 1996).

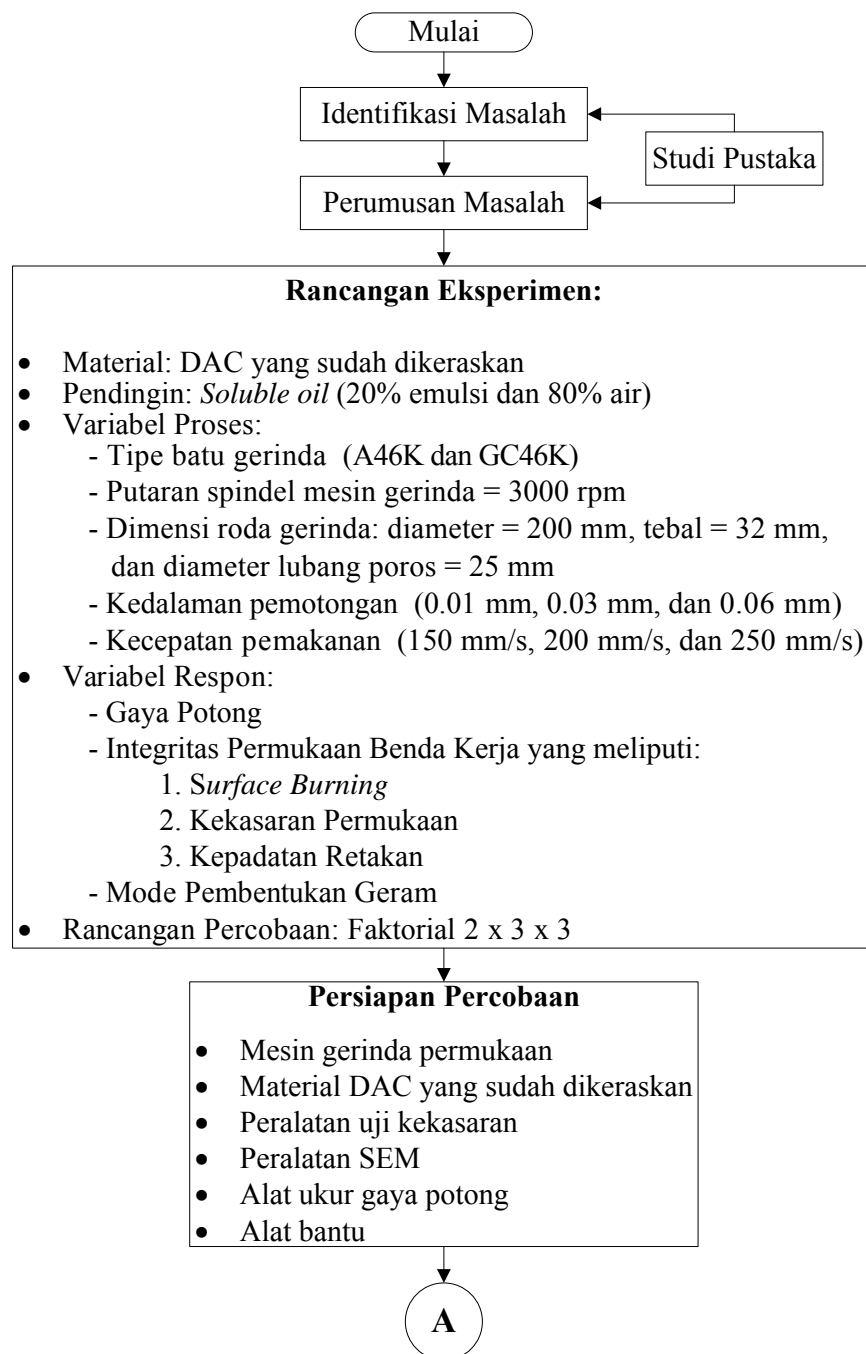


## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

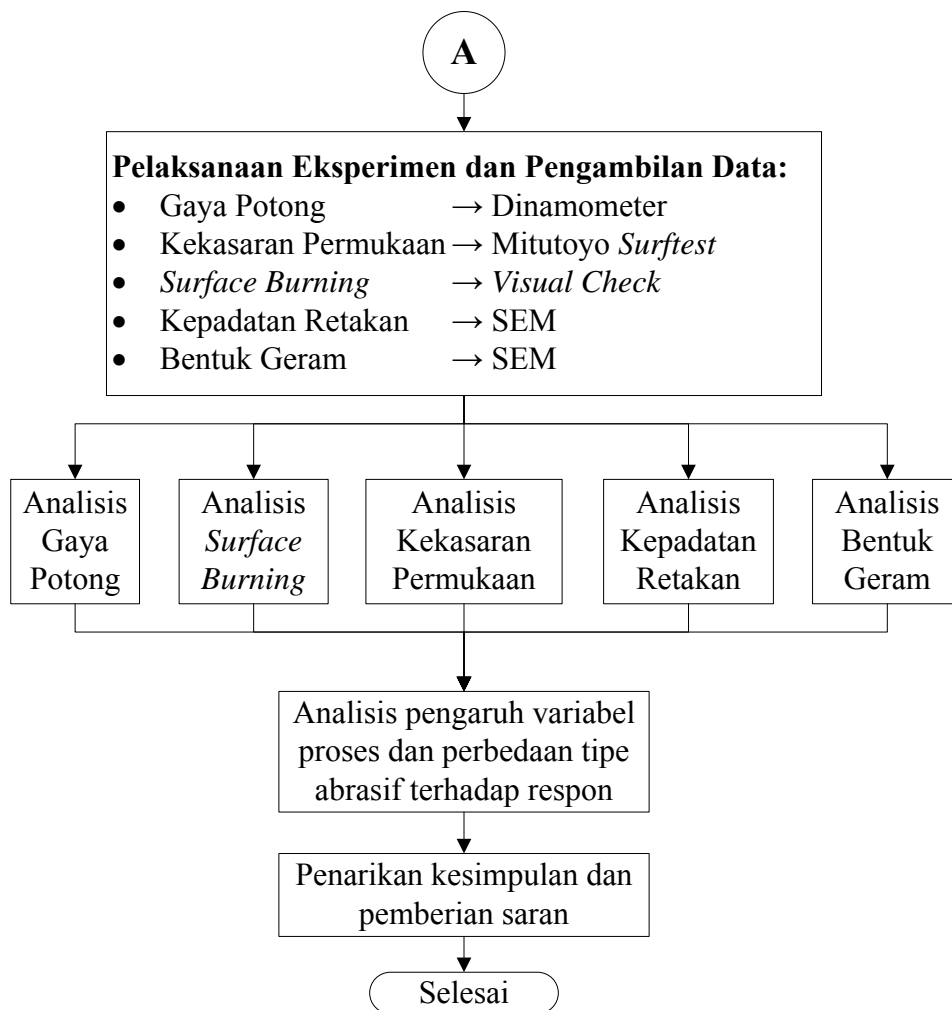
#### 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian (lanjutan)

### 3.2 Variabel-Variabel dalam Penelitian

Data penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel proses yang dapat dikendalikan dan besarnya dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian itu sendiri. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tipe abrasif (A46K dan GC46K).
2. Kedalaman potong (0.01 mm, 0.03 mm, 0.06 mm).
3. Kecepatan makan (150 mm/s, 200 mm/s, 250 mm/s).



### 3.2.2 Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas merupakan variabel respon yang besarnya tidak dapat ditentukan, dan nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan, serta hasilnya diketahui setelah melaksanakan percobaan. Variabel tak bebas pada penelitian ini adalah:

1. Gaya potong.
2. IPBK yang meliputi *surface burning*, kekasaran permukaan dan kepadatan retakan
3. Mode pembentukan geram.

### 3.2.3 Variabel Konstan

Variabel konstan merupakan variabel yang tidak diteliti dalam penelitian. Nilai variabel ini dijaga selalu konstan agar tidak berubah selama percobaan, sehingga tidak mempengaruhi hasil penelitian secara signifikan. Variabel-variabel konstan pada penelitian ini adalah:

- a. *Soluble oil* yang digunakan sebagai cairan pendingin dengan persentase emulsi 20% sebesar (pelumas) dan air sebesar 80% (pendingin).
- b. Putaran batu gerinda sebesar 3000 rpm.

Selain variabel-variabel yang telah disebutkan diatas, ada faktor lain yang mempengaruhi hasil sebuah eksperimen, yaitu faktor *noise*. Faktor *noise* adalah faktor gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Hal-hal yang mungkin menjadi faktor *noise* dalam penelitian ini adalah temperatur cairan pendingin dan konsentrasi geram dalam cairan pendingin. Faktor-faktor ini tidak dimasukkan kedalam rancangan percobaan, sehingga pengambilan data dilakukan dengan replikasi untuk mengatasi pengaruh faktor *noise* terhadap hasil penelitian.

## 3.3 Tempat, Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan menggunakan alat dan bahan penelitian sebagai berikut:



### 3.3.1 Mesin Gerinda Permukaan

Mesin gerinda permukaan yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin gerinda permukaan yang berada di Laboratorium Proses Manufaktur Jurusan Teknik Mesin ITS. Mesin gerinda permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.2 dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis mesin	: <i>Surface Grinding</i>
Model	: KGS818AH
Dimensi meja kerja	: Panjang 200 mm dan lebar 460 mm
Kecepatan putaran	: 3000 rpm

Spesifikasi mesin gerinda permukaan model KGS818AH secara rinci dapat dilihat pada lampiran 1.



Gambar 3.2 Mesin gerinda permukaan model KGS818AHD

### 3.3.2 Alat Ukur Gaya

Gaya-gaya yang terjadi pada proses gerinda dapat diukur dengan menggunakan alat-alat sebagai berikut:

#### 1. Dinamometer

Dinamometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinamometer merek Kistler tipe 9272 yang memiliki sensor *piezoelectric*. Gaya yang diukur



dengan menggunakan dinamometer pada saat proses gerinda dilakukan adalah gaya normal dan gaya tangensial ( $F_z$  dan  $F_x$ ). Dinamometer Kistler 9272 ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Dinamometer KISTLER tipe 9272 (*Instruction Manual Kistler 9272*)

Spesifikasi dari dinamometer Kistler 9272 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi dinamometer Kistler 9272

Spesifikasi	Simbol	Ukuran	Satuan
Jarak Pengukuran	$F_x, F_y$	$\pm 5$	kN
	$F_z$	-5...20	kN
	$M_z$	$\pm 200$	N.m
Sensitifitas	$F_x, F_y$	$\approx 7.8$	pC/N
	$F_z$	$\approx 3.5$	pC/N
	$M_z$	$\approx 1.6$	pC/N.cm
Frekuensi Pribadi	$f_{n_x}, f_{n_y}$	$\approx 3.1$	kHz
	$f_{n_z}$	$\approx 6.3$	kHz
	$f_n (M_z)$	$\approx 4.2$	kHz
Temperatur pengukuran		0...70	°C
Tinggi		70	Mm
Diameter		100	Mm
Diameter dalam		15	Mm
Berat		4.2	Kg

Sumber: *Instruction Manual Kistler 9272*



## 2. *Data Acquisition System (DAQ)*

Sistem akuisisi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah DAQ Kistler tipe 5697A yang terhubung dengan perangkat lunak *DynoWare* pada komputer melalui kabel USB. DAQ ini digunakan untuk mengolah dan memperbesar sinyal dan memiliki 8 *channel output* dengan resolusi yang tinggi. Alat ini juga dapat mengukur sampel hingga frekuensi 125 kS/s, sehingga dapat dilakukan pengukuran pada proses dinamis. DAQ Kistler tipe 5697A ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 DAQ Kistler tipe 567A ([www.kistler.com](http://www.kistler.com))

## 3. *Charge Amplifier*

*Charge Amplifier* tipe 5070A ini memiliki 8 *channel input* yang digunakan untuk pengukuran gaya penggerindaan dengan dinamometer Kistler. *Charge Amplifier* tipe 5070A ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Charge Amplifier* tipe 5070A ([www.kistler.com](http://www.kistler.com))

## 4. Komputer

Komputer digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran gaya gerinda. Komputer juga dilengkapi dengan perangkat lunak *DynoWare*.



Spesifikasi minimum komputer untuk pengambilan data ini adalah Pentium II dengan prosesor sebesar 500 MHz, RAM sebesar 64 Mb, *Harddisk* sebesar 100 Mb, dan 1 slot *USB* untuk DAQ.

### 3.3.3 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan benda kerja pada penelitian ini diukur dengan menggunakan Mitutoyo *Surftest* 301 yang memiliki kecermatan 0,01  $\mu\text{m}$ . Mitutoyo *Surftest* 301 ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mitutoyo *Surftest* 301

### 3.3.4 *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pada penelitian ini digunakan alat SEM Inspect S50. Alat ini mampu mengamati partikel dengan perbesaran sampai 150.000 kali dengan resolusi kedalaman 3-100 nanometer, sehingga bentuk geram dan kepadatan retakan pada benda kerja dapat diamati dan dianalisis dengan alat ini. SEM Inspect S50 ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Scanning electron microscope* (SEM) Inspect S50



### 3.3.5 Alat Bantu

Peralatan bantu yang digunakan pada penelitian ini adalah:

➤ Alat Bantu Cekam Benda Kerja

Dimensi benda kerja yang relatif kecil membuat benda kerja sulit untuk dicekam. Benda kerja harus dicekam dengan baik agar pada saat proses gerinda, pengukuran gaya dapat dilakukan dengan sebaik mungkin. Alat bantu cekam benda kerja ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Alat bantu cekam benda kerja

➤ Mistar Sorong

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi dan ketinggian benda kerja. Alat ini mempunyai kecermatan sampai dengan 0,01 mm.

➤ Meja Rata

Meja rata digunakan untuk meletakkan spesimen uji pada saat melakukan pengukuran kekasaran permukaan. Hal ini diperlukan agar memudahkan proses pengukuran dan dapat diperoleh hasil yang maksimal.

### 3.3.6 Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja perkakas DAC atau setara dengan SKD 61. Pembuatan spesimen dilakukan dengan memotong material dengan menggunakan proses *Wire Electrical Discharge Machining* dengan dimensi spesimen yaitu panjang sebesar 40 mm, lebar sebesar 10 mm, dan tebal sebesar 5 mm. Material yang sudah dipotong dimasukkan dalam plat yang



telah dibentuk sedemikian rupa agar pada proses pengerasan diperoleh hasil yang optimal. Material yang sudah dipotong dan ditata ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Benda kerja yang akan dikeraskan

Material dikeraskan di PT. Paragon Spesial Metal yang berlokasi di Jl. Raya Kedung Asem No. 9 Blok C-1 Surabaya. Kekerasan material yang diperoleh setelah proses pengerasan adalah sebesar 50 HRC. Ilustrasi benda kerja yang telah dikeraskan ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Benda kerja yang telah dikeraskan

Komposisi kimia dari material DAC ditunjukkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Komposisi kimia material DAC

Jenis Kimia	Persentase (%)
<i>Carbon</i>	0.38
<i>Silicon</i>	0.90
<i>Manganese</i>	0.43
<i>Phosphorus</i>	0.03
<i>Sulphur</i>	0.001
<i>Nickel</i>	-
<i>Chromium</i>	5.08
<i>Molybdenum</i>	1.26
<i>Vanadium</i>	0.83

Sumber: Hitachi Metals





### 3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah percobaan sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen dengan dimensi panjang sebesar 40 mm, lebar sebesar 10 mm, dan tebal sebesar 5 mm.
2. Pengerasan material benda kerja.
3. Pengujian kekerasan benda kerja yang telah dikeraskan.
4. *Balancing* dan *dressing* terhadap batu gerinda.
5. Persiapan pengukuran gaya-gaya potong proses gerinda permukaan dengan langkah sebagai berikut:
  - a. Memasang kabel konektor USB dan kabel *power* pada DAQ, serta kabel analog dan kabel power untuk *charge amplifier*.
  - b. Menyalakan DAQ dan *charge amplifier* selama 30 menit untuk *warming up*.
  - c. Memasukkan data sensitifitas pada DAC sesuai dengan data kalibrasi berdasarkan sertifikat kalibrasi.
  - d. Memasang dinamometer pada meja mesin gerinda permukaan tanpa menggunakan elektromagnet.
  - e. Memasang alat bantu cekam benda kerja pada dinamometer.
  - f. Memasang spesimen pada alat bantu yang sudah dipasang pada dinamometer.
6. Hidupkan mesin gerinda permukaan dan atur variabel-variabel yang telah ditetapkan sesuai dengan kombinasi faktor yang telah ditentukan.
7. Pelaksanaan proses penggerindaan dengan mode *plunge surface grinding up cut* dengan satu kali pemakanan.
8. Pengukuran gaya normal dan gaya tangensial ( $F_x$  dan  $F_z$ ) yang dilakukan berdasarkan kombinasi faktor yang telah ditentukan, dengan menggunakan dinamometer selama proses penggerindaan.
9. Proses *dressing* dilakukan pada batu gerinda pada setiap penggantian spesimen.
10. Pengumpulan geram hasil percobaan dilakukan pada setiap pergantian variabel proses.



11. Pelepasan dan pengeringan benda kerja setelah proses penggerindaan selesai.
12. Pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan *surface roughness tester*.
13. Pengamatan dan pengambilan data *surface burning* yang terbentuk pada permukaan benda kerja.
14. Penyiapan SEM.
15. Penempatan benda kerja hasil proses gerinda permukaan pada meja SEM.
16. Pengamatan dan pengambilan gambar morfologi permukaan benda kerja dengan SEM.
17. Pengukuran kepadatan retakan yang ada di permukaan benda kerja pada foto hasil SEM dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD.
1. Penempatan geram hasil proses gerinda permukaan pada meja alat foto SEM.
18. Pengamatan dan pengambilan gambar geram dari tiap kombinasi variabel proses dengan SEM.
19. Pelaksanaan analisis dari data yang sudah didapat.

### 3.5 Pengukuran dan Pengambilan Data

#### 3.5.1 Pengukuran Gaya Potong

Gaya penggerindaan yang terjadi selama proses gerinda permukaan selalu berubah setiap saat dan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Gaya-gaya yang terjadi pada proses gerinda permukaan adalah gaya normal ( $F_z$ ) dan gaya tangensial ( $F_x$ ). Dari data gaya-gaya yang terukur oleh dinamometer dilakukan penjumlahan vektor gaya  $F_x$  dan vektor gaya  $F_z$ . Resultan gaya ( $F$ ) yang terjadi pada proses gerinda permukaan dihitung berdasarkan Persamaan 3.1.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad (3.1)$$

#### 3.5.2 Pengamatan *Surface Burning*

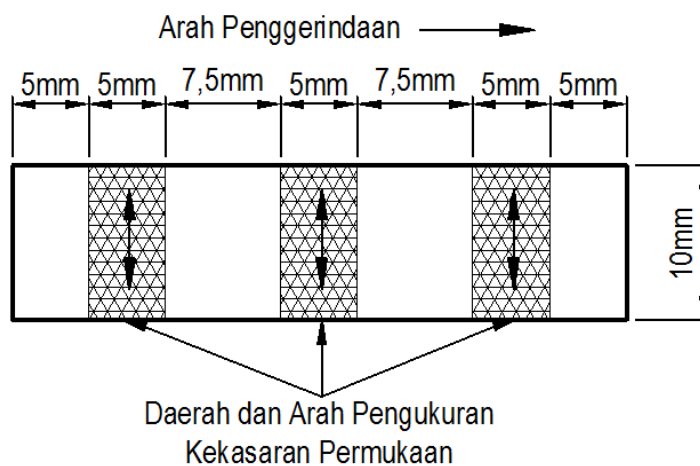
*Surface burning* adalah salah satu fenomena yang terjadi pada proses gerinda permukaan. Permukaan benda kerja yang mengalami *surface burning*



akan tampak hangus akibat kesalahan pemilihan variabel proses gerinda. Pengamatan *surface burning* pada penelitian ini dilakukan dengan cara *visual check*. Benda kerja hasil proses penggerindaan diletakkan diatas meja dengan penerangan yang cukup, kemudian diamati secara visual dan dicatat muncul tidaknya fenomena *surface burning* beserta kuantitas besar kecilnya *surface burning*.

### 3.5.3 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Permukaan benda kerja hasil proses gerinda diukur kekasarannya dengan arah tegak lurus terhadap arah penggerindaan benda kerja. Angka kekasaran permukaan yang diamati adalah kekasaran aritmatika ( $R_a$ ) yang dinyatakan dalam  $\mu m$ . Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali yaitu pada posisi awal, tengah dan akhir proses penggerindaan untuk setiap spesimen. Pengukuran dilakukan pada daerah yang mempunyai kondisi penggerindaan yang sudah stabil (*steady*). Skema pengukuran kekasaran permukaan yang dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema pengukuran kekasaran permukaan.

### 3.5.4 Pengambilan Foto Kepadatan Retakan

Sebelum kepadatan retakan diukur, benda kerja diamati terlebih dahulu dengan menggunakan SEM. Pengambilan foto retakan pada permukaan benda kerja dilakukan secara acak. Setelah retakan tersebut terlihat pada monitor, kemudian diambil foto pada masing-masing spesimen dan disimpan. Pengukuran kepadatan retakan dilakukan pada setiap foto dengan menggunakan perangkat



lunak AutoCAD dengan cara menghitung rasio kepadatan retakan permukaan (KRP). Perhitungan KRP pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

### 3.5.5 Pengambilan Foto Bentuk Geram

Proses pemesinan gerinda permukaan, seperti halnya proses pemesinan yang lain, juga menghasilkan geram sebagai material yang terbuang. Perbedaan variabel proses pemesinan gerinda menghasilkan bentuk geram yang berbeda-beda. Geram hasil percobaan tiap variabel bebas diambil dan dimasukkan kedalam cawan dan dikeringkan, selanjutnya geram dibersihkan dari debu batu gerinda dengan cara menggosokkan magnet pada geram. Setelah bersih selanjutnya geram diamati dengan SEM pada masing-masing kombinasi faktor yang ditentukan.

## 3.6 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan faktorial yang mencakup tiga faktor, dimana salah satu faktor terdiri dari dua level dan dua faktor yang lain terdiri dari tiga level atau disebut juga desain faktorial  $2 \times 3 \times 3$ . Respon yang diteliti pada penelitian ini adalah gaya penggerindaan, *surface burning*, kekasaran permukaan, kepadatan retakan dan bentuk geram menjadi. Replikasi dilakukan sebanyak 2 kali pada pengukuran gaya potong dan kekasaran permukaan. Tabel 3.3 merupakan tabel untuk rancangan percobaan yang dilaksanakan.

Tabel 3.3 Rancangan percobaan

Variabel Proses			Variabel Respon						
Tipe abrasif	Kecepatan makan (mm/s)	Kedalaman potong (mm)	Gaya		Kekasaran permukaan		Surf. burn	Kepadatan retakan	Bentuk geram
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2			
A46K	150	0,01							
		0,03							
		0,06							
	200	0,01							
		0,03							
		0,06							



Variabel Proses			Variabel Respon						
Tipe abrasif	Kecepatan makan (mm/s)	Kedalaman potong (mm)	Gaya		Kekasaran permukaan		Surf. burn	Kepadatan retakan	Bentuk geram
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2			
	250	0,01							
		0,03							
		0,06							
GC46K	150	0,01							
		0,03							
		0,06							
	200	0,01							
		0,03							
		0,06							
	250	0,01							
		0,03							
		0,06							



## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan variabel-variabel proses mesin gerinda permukaan sesuai dengan rancangan eksperimen yang telah ditetapkan. Variabel-variabel proses tersebut meliputi tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong. Variabel-variabel proses tersebut diduga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong, integritas permukaan benda kerja yang meliputi kekasaran permukaan benda kerja, kepadatan retakan dan *surface burning*, serta mode pembentukan geram. Data yang diperoleh selama eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil eksperimen gerinda permukaan

Variabel Proses			Variabel Respon						
Tipe abrasif	Kecepatan makan (mm/s)	Kedalaman potong (mm)	Gaya		Kekasaran permukaan		Temp. Surface burning (°C)	Kepadatan retakan	Bentuk geram
			Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2			
A46K	150	0,01	110,98	109,51	0,37	0,38	395	-	Lm, Lf
		0,03	182,37	186,04	0,54	0,55	448	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	253,21	265,55	0,64	0,65	475	-	Lm, Lf, S, I
	200	0,01	102,64	102,62	0,32	0,33	367	-	Lm, Lf
		0,03	174,57	176,73	0,53	0,52	442	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	279,86	265,95	0,64	0,64	475	-	Lm, Lf, S, I
	250	0,01	117,61	115,10	0,32	0,31	331	-	Lm, Lf
		0,03	204,50	199,24	0,53	0,52	440	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	282,47	272,30	0,64	0,63	475	-	Lm, Lf, S, I
GC46K	150	0,01	104,44	95,05	0,39	0,38	349	-	Lm, Lf, I
		0,03	131,34	124,55	0,55	0,57	392	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	326,82	317,45	1,12	1,08	475	-	Lm, Lf, S, I
	200	0,01	119,20	123,56	0,36	0,35	315	-	Lm, Lf, I
		0,03	138,90	139,57	0,48	0,51	346	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	316,66	298,52	1,04	1,07	472	-	Lm, Lf, S, I
	250	0,01	115,21	111,44	0,32	0,33	275	-	Lm, Lf, I
		0,03	144,86	148,07	0,43	0,42	288	-	Lm, Lf, S, I
		0,06	227,24	221,05	0,90	0,93	375	-	Lm, Lf, S, I

Sumber: Hasil pengukuran



Keterangan:

Lm : *Lamellar*

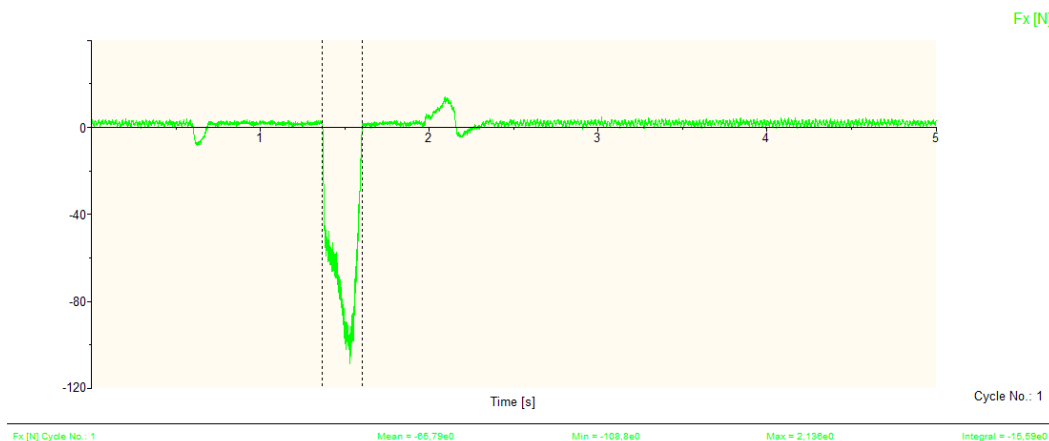
Lf : *Leafy*

S : *Spherical*

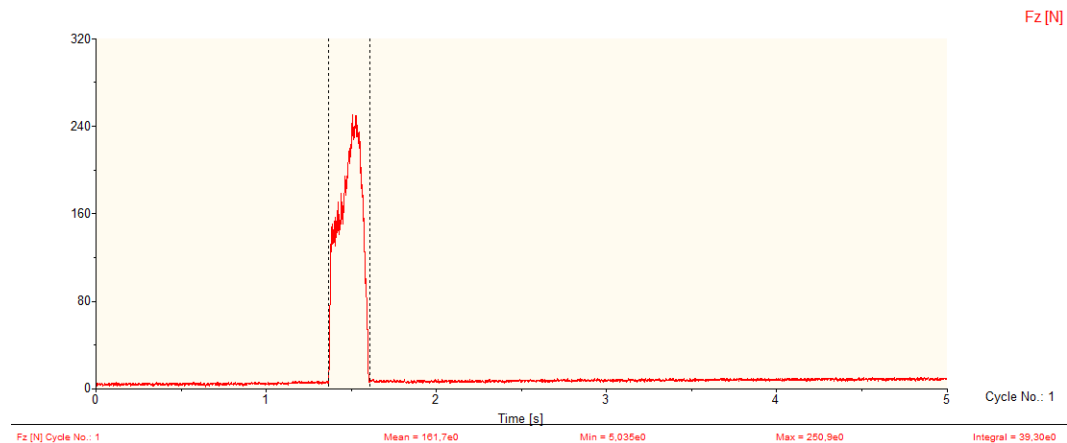
I : *Irregular*

## 4.2 Analisis Variabel Proses Terhadap Gaya Potong

Pengukuran gaya potong pada proses gerinda permukaan dilakukan dengan menggunakan dinamometer dan replikasi sebanyak dua kali. Gaya yang dapat diukur oleh dinamometer pada proses gerinda permukaan adalah gaya yang searah searah sumbu X (gaya tangensial) dan gaya yang searah dengan sumbu Z (gaya normal). Resultan gaya dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1. Contoh hasil pengukuran gaya potong ditunjukkan pada Gambar 4.1 untuk gaya yang searah sumbu X ( $F_x$ ) dan Gambar 4.2 untuk gaya yang searah sumbu Z ( $F_z$ ). Gambar hasil pengukuran gaya potong secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.1 Gaya potong searah sumbu X ( $F_x$ ) yang terjadi pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 200 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.



Gambar 4.2 Gaya normal ( $F_z$ ) yang terjadi pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 200 m m/s dan kedalaman potong 0.03 mm.

Besar gaya potong yang terjadi selama proses gerinda permukaan selalu berubah setiap saat karena pengaruh dari variabel proses yang digunakan. Analisis variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses mana yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap gaya potong. Hasil dari analisis variansi (ANOVA) untuk gaya potong ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Analisis variansi (ANOVA) variabel proses terhadap gaya potong

<i>Source</i>	<i>DF</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p - value</i>
A	1	1082	1082	1,59	0,218
B	2	268	134	0,20	0.822
C	2	174497	87249	127,97	0.000
Error	30	20453	682		
Total	35	196301			

Sumber: Hasil perhitungan

Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar daripada  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa variabel proses tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Untuk variabel proses A (tipe abrasif)

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2$$





Kesimpulan:  $F_{hitung} = 1,59 < F_{(0,05;1;30)} = 4,17$ , maka  $H_0$  gagal ditolak, artinya tidak ada pengaruh variabel proses tipe abrasif terhadap gaya potong

2. Untuk variabel proses B (kecepatan makan).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \beta_j \neq 0$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 0,20 < F_{(0,05;2;30)} = 3,32$ , maka  $H_0$  gagal ditolak, artinya tidak ada pengaruh variabel proses kecepatan makan terhadap gaya potong

3. Untuk variabel proses C (kedalaman potong).

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \tau_k \neq 0$$

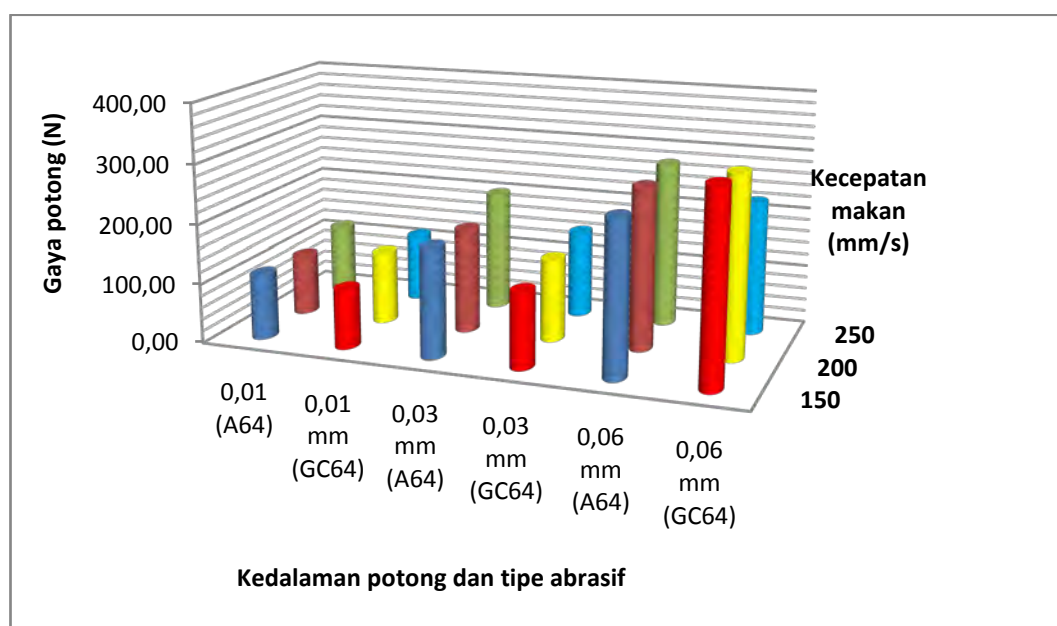
Kesimpulan:  $F_{hitung} = 127,97 > F_{(0,05;2;30)} = 3,32$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses kedalaman potong terhadap gaya potong

Berdasarkan uji hipotesis distribusi F, maka variabel proses yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap gaya potong adalah kedalaman potong, sedangkan tipe abrasif dan kecepatan makan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong. Kesimpulan pengaruh untuk masing-masing variabel proses terhadap gaya potong ditunjukkan pada Tabel 4. 3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Kesimpulan pengaruh variabel proses terhadap gaya potong

Sumber Variasi	Kesimpulan
Tipe Abrasif	Tidak berpengaruh
Kecepatan Makan	Tidak berpengaruh
Kedalaman Potong	Berpengaruh

Hubungan antara kecepatan makan dan kedalaman potong dengan gaya potong pada proses gerinda permukaan dengan dua tipe abrasif yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap gaya potong.

Dari Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa:

1. Peningkatan kedalaman potong pada kecepatan makan yang sama dapat meningkatkan gaya potong.
2. Penggunaan tipe abrasif dan kecepatan makan yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan gaya potong yang signifikan.

Hasil gaya potong yang diperoleh selama eksperimen yang dipengaruhi oleh kecepatan makan dan kedalaman potong pada proses gerinda permukaan dengan dua tipe abrasif yang berbeda dikelompokkan dan ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengelompokan hasil gaya potong selama eksperimen

Tipe abrasif		<i>Aluminum Oxide</i>			<i>Green Silicone</i>		
Kedalaman potong (mm)		0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,06
		Kelompok			Kelompok		
Kecepatan Makan (mm/s)	150	A	B	D	A	C	D
	250	A	B	D	A	C	D
	250	A	B	D	A	C	D



Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa variabel proses yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap besarnya gaya potong adalah kedalaman potong. Peningkatan kedalaman potong menyebabkan bertambah lebarnya bidang geser sehingga membuat gaya potong semakin besar. Kedalaman potong yang tinggi juga menyebabkan temperatur daerah penggerindaan naik karena bidang geser yang bertambah lebar. Kenaikan temperatur daerah penggerindaan berpengaruh pada ketajaman butiran abrasif. Temperatur penggerindaan yang tinggi dapat mempermudah terjadinya adhesi geram pada butiran abrasif. Hal ini menyebabkan butiran abrasif menjadi tumpul, sehingga menyebabkan gaya potong yang terjadi semakin besar. Selain menyebabkan kenaikan temperatur, kedalaman potong yang tinggi juga menyebabkan terjadinya pematahan butiran abrasif pada roda gerinda. Dalam kondisi ini aksi dari butiran abrasif akan didominasi oleh proses *ploughing* dan *rubbing*, sehingga mengakibatkan gaya potong bertambah besar.

### 4.3 Analisis Variabel Proses Terhadap Kekasaran Permukaan

Pengambilan data kekasaran permukaan benda kerja juga dilakukan dengan replikasi sebanyak dua kali. Pengukuran tiap spesimen dilakukan tiga kali dengan posisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Hasil data kekasaran permukaan dari eksperimen secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 3.

Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses mana yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan. Analisis variansi (ANAVA) untuk kekasaran berdasarkan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Analisis variansi (ANAVA) variabel proses terhadap kekasaran permukaan

Source	DF	SS	MS	F	$\rho$ - value
A	1	0,13040	0,13040	11,38	0,002
B	2	0,03534	0,01767	1,54	0,231
C	2	1,45865	0,72932	63,62	0,000
Error	30	0,34390	0,01146		
Total	35	1,96829			

Sumber: Hasil perhitungan



Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar dari  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa variabel proses tersebut mempunyai pengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Untuk variabel proses A (tipe abrasif)

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 11,38 > F_{(0,05;1;30)} = 4,17$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses tipe abrasif terhadap kekasaran permukaan.

2. Untuk variabel proses B (kecepatan makan).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \beta_j \neq 0$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 1,54 < F_{(0,05;2;30)} = 3,32$ , maka  $H_0$  gagal ditolak, artinya tidak ada pengaruh variabel proses kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan.

3. Untuk variabel proses C (kedalaman potong).

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \tau_k \neq 0$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 63,62 > F_{(0,05;2;30)} = 3,32$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan.

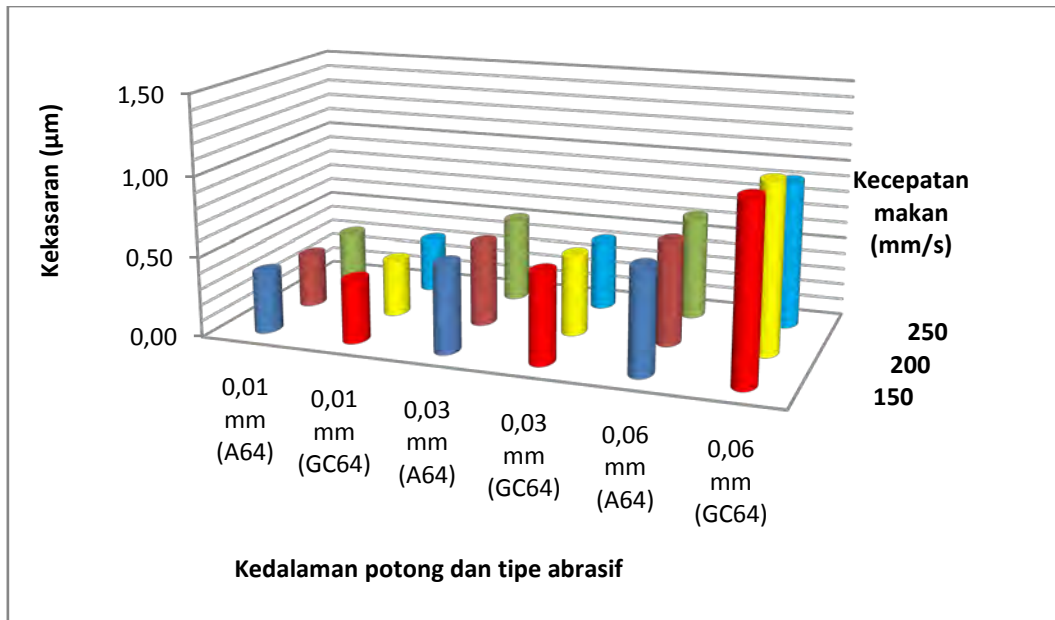
Berdasarkan uji hipotesis distribusi F, maka variabel proses yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan adalah tipe abrasif dan kedalaman potong, sedangkan kecepatan makan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong. Kesimpulan pengaruh untuk masing-masing variabel proses terhadap kekasaran permukaan ditunjukkan pada tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Kesimpulan pengaruh variabel proses terhadap kekasaran permukaan

Sumber Variasi	Kesimpulan
Tipe Abrasif	Berpengaruh
Kecepatan Makan	Tidak berpengaruh
Kedalaman Potong	Berpengaruh



Hubungan antara kedalaman potong, tipe abrasif dan kecepatan makan terhadap kekasaran permukaan dapat juga ditunjukkan oleh histogram pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan.

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa:

1. Penggunaan tipe abrasif yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan kekasaran permukaan, yaitu penggunaan abrasif tipe *Green Silicone* menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih tinggi.
2. Penggunaan kecepatan makan yang berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan kekasaran yang signifikan.
3. Penambahan kedalaman potong memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kekasaran permukaan, yaitu semakin besar kedalaman potong yang digunakan maka kekasaran permukaan juga menjadi lebih besar.

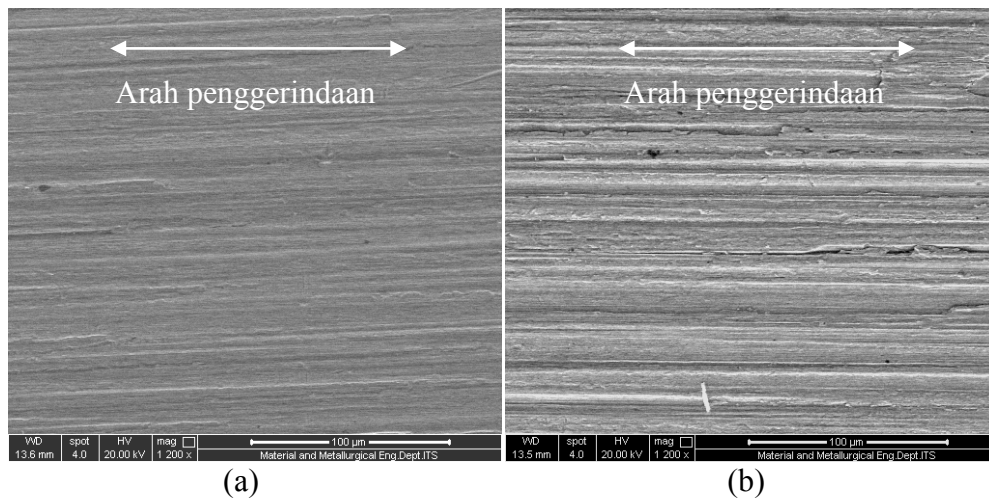
Hasil kekasaran yang diperoleh selama eksperimen yang dipengaruhi oleh kecepatan makan dan kedalaman potong pada proses gerinda permukaan dengan dua tipe abrasif yang berbeda dikelompokkan dan ditunjukkan pada Tabel 4.7.



Tabel 4.7 Pengelompokan hasil kekasaran permukaan selama eksperimen

Tipe abrasif		<i>Aluminum Oxide</i>			<i>Green Silicone</i>		
Kedalaman potong (mm)		0,01	0,03	0,06	0,01	0,03	0,06
		Kelompok			Kelompok		
Kecepatan Makan (mm/s)	150	A	B	C	A	B	D
	250	A	B	C	A	B	D
	250	A	B	C	A	B	D

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa variabel proses yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap besarnya kekasaran permukaan adalah kedalaman potong. Penggunaan tipe abrasif yang berbeda baru menunjukkan perbedaan nilai kekasaran pada penggunaan kedalaman potong 0,06 mm. Penggunaan tipe abrasif *Aluminum Oxide* diperoleh kekasaran permukaan yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan penggunaan tipe abrasif *Green Silicone*. Kekasaran permukaan naik dengan bertambahnya kedalaman potong. Kedalaman potong yang kecil membuat butiran abrasif yang terdapat di permukaan roda gerinda sedikit bergesekan dengan benda kerja. Gesekan yang sedikit ini menyebabkan permukaan hasil penggerindaan mempunyai celah yang sempit, sehingga kekasaran permukaan benda kerja juga rendah. Akan tetapi, dengan pemakaian kedalaman potong yang besar, maka butiran abrasif yang terdapat di permukaan roda gerinda akan lebih banyak bergesekan dengan benda kerja, sehingga menyebabkan permukaan hasil penggerindaan mempunyai celah yang lebar. Hal ini menyebabkan kekasaran permukaan semakin tinggi. Gambar 4.5 a dan 4.5 b menunjukkan morfologi permukaan benda kerja yang dilihat hasil foto SEM dengan perbesaran 1.200 kali.



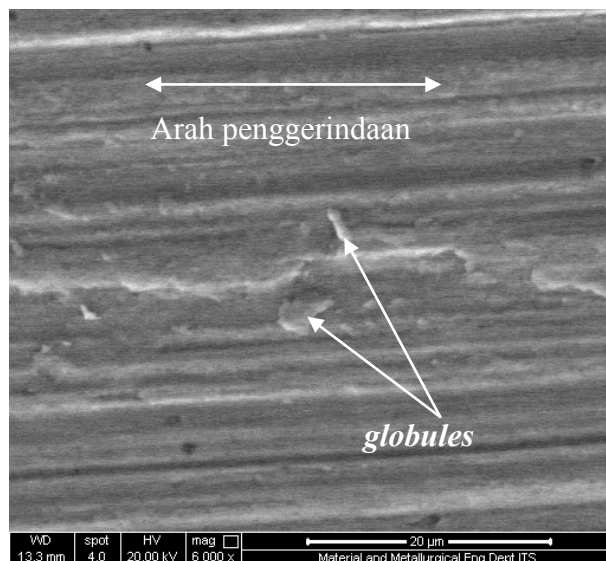
Gambar 4.5 Morfologi permukaan benda kerja yang menunjukkan celah pada permukaan benda kerja. (a) kedalaman potong 0.01 mm, (b) kedalaman potong 0.06 mm.

Variabel proses lain yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah tipe abrasif. Pada kedalaman potong 0,01 dan 0,03, kekasaran permukaan benda kerja masih belum menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Akan tetapi, pada kedalaman 0,06 terlihat perbedaan yang signifikan dari penggunaan tipe abrasif yang berbeda. Kekasaran permukaan yang tinggi pada penggunaan tipe abrasif GC64K dengan kedalaman potong 0,06 disebabkan oleh *two body abrasion*. Abrasi ini terjadi pada penggerindaan material yang keras, sehingga material yang lebih lunak juga ikut terabrasi. Abrasi yang tidak beraturan pada batu gerinda membuat permukaan hasil gerinda mempunyai kekasaran permukaan yang tinggi. Sebagian dari geram hasil gesekan yang terbentuk akan menempel pada roda gerinda karena proses *adhesi*. Selama proses pelepasan material benda kerja yang berulang-ulang, geram yang menempel pada roda gerinda ikut berperan juga dalam proses pelepasan material benda kerja. Hal ini juga mengakibatkan terjadinya kenaikan temperatur pada daerah penggerindaan selama proses gerinda permukaan berlangsung. Dengan adanya temperatur yang tinggi, maka sebagian geram yang menempel pada roda gerinda dan sebagian geram hasil gesekan akan menyatu kembali dengan permukaan benda kerja. Sebagai akibatnya, terbentuk *globules* pada permukaan benda kerja, sehingga





kekasaran permukaan menjadi semakin tinggi. Gambar 4.6 m enunjukkan *globules* yang terjadi pada permukaan benda kerja.



Gambar 4.6 Foto SEM *globules* pada permukaan benda kerja

Penggunaan cairan pendingin pada proses gerinda permukaan akan mengurangi kenaikan temperatur. Panas yang terjadi selama proses gerinda permukaan akan terserap oleh benda kerja, roda gerinda dan juga oleh cairan pendingin. Panas yang terserap oleh cairan pendingin menyebabkan temperatur berkurang dan sebagian cairan pendingin akan menguap. Cairan pendingin juga berfungsi untuk mengurangi gesekan antara roda gerinda dengan benda kerja dan menghilangkan geram dari area penggerindaan. Hal ini akan mempertahankan ketajaman butiran abrasif selama proses gerinda permukaan, sehingga pelepasan material akan didominasi oleh proses *cutting*. Kegagalan pendinginan juga akan mengakibatkan kekasaran permukaan meningkat.

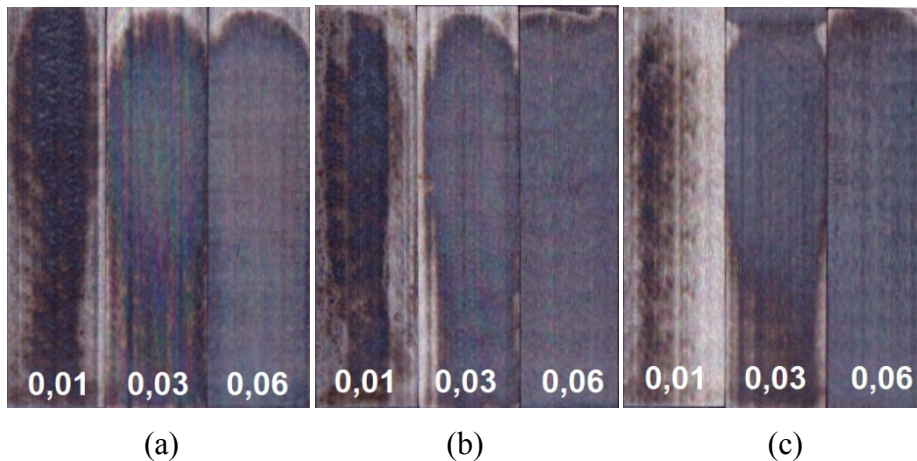
#### 4.4 Pengaruh Variabel Proses Terhadap *Surface Burning*

*Surface burning* merupakan salah satu jenis dari kerusakan termal yang terjadi selama proses gerinda permukaan. Hal ini terjadi pada area dimana gesekan antara roda gerinda dengan permukaan benda kerja terjadi, sehingga pada area ini terjadi kenaikan temperatur naik sangat tinggi. Dalam penelitian ini *burning* terjadi hampir pada seluruh spesimen dengan kuantitas yang berbeda-beda. Pengamatan terhadap *burning* dilakukan secara visual dengan pencahayaan

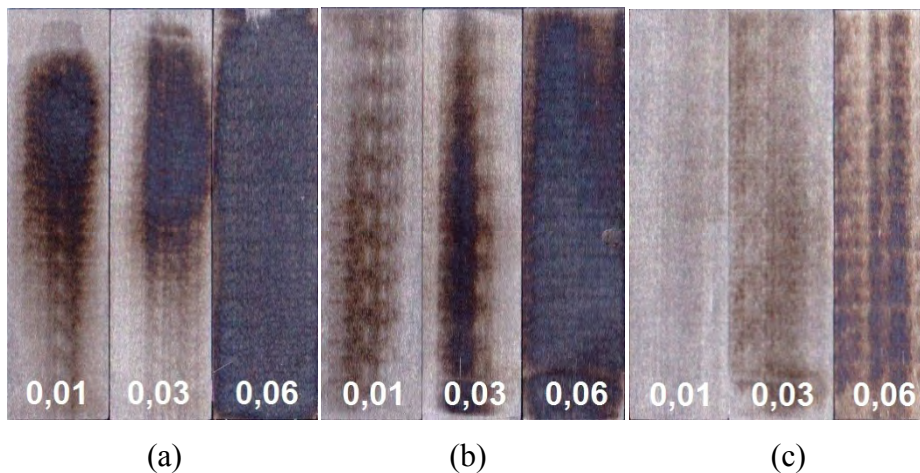




yang cukup terhadap spesimen yang diletakkan pada alas yang datar. Gambar 4.7 sampai Gambar 4.8 menunjukkan derajat *burning* yang terjadi pada proses gerinda permukaan. Proses gerinda permukaan tiap spesimen dilakukan dengan satu kali pemakanan dengan menggunakan tipe abrasif yang berbeda dengan kedalaman potong 0,01 mm, 0,03 mm, dan 0,06 mm.



Gambar 4.7 *Surface burning* pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, (a) kecepatan makan 150 mm/s, (b) kecepatan makan 200 mm/s, (c) kecepatan makan 250 mm/s.



Gambar 4.8 *Surface burning* pada proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *green silicone*, (a) kecepatan makan 150 mm/s, (b) kecepatan makan 200 mm/s, (c) kecepatan makan 250 mm/s.

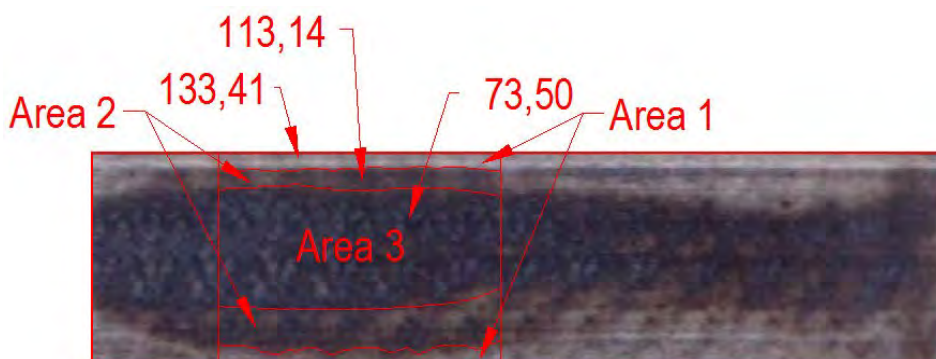
Temperatur penggerindaan sangat sulit diukur karena proses gerinda berjalan begitu cepat, sehingga belum ada cara yang benar-benar tepat untuk



digunakan untuk mengukur temperatur penggerindaan. Pada penelitian ini derajat *burning* digunakan sebagai estimasi temperatur penggerindaan dengan cara mencocokkan warna spesimen dengan warna spesimen pembanding. Spesimen pembanding diperoleh dengan cara memanaskan tipe logam spesimen yang sama pada tungku. Temperatur tungku diatur sebesar 275°C dan ditahan selama 10 menit agar suhu spesimen homogen, setelah itu spesimen dikeluarkan di udara terbuka agar teroksidasi. Temperatur tungku diatur mulai dari 275°C sampai 475°C dengan interval 25°C. Warna spesimen pembanding dapat dilihat pada Gambar 4.9, sedangkan contoh pembagian area menurut warna dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Spesimen pembanding temperatur penggerindaan baja DAC



Gambar 4.10 Area spesimen hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide* pada kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman makan 0,01 mm yang terbagi menurut warnanya

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat luas dari masing-masing area warna yang digunakan sebagai pendekatan terhadap temperatur penggerindaan yang terjadi. Persentase area dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\text{Persentase} = \frac{\text{luas batas luar} - \text{luas batas dalam}}{\text{luas seluruh h penampang yang di ukur}} \times 100\% \quad (4.1)$$



Dari persamaan diatas maka dapat diperoleh:

$$\text{Persentase area 1} = \frac{133,41-113,41}{133,41} \times 100\% = 15,2\%$$

$$\text{Persentase area 2} = \frac{113,41-73,50}{113,41} \times 100\% = 29,7\%$$

$$\text{Persentase area 3} = \frac{73,50-0}{113,41} \times 100\% = 55,1\%$$

Temperatur penggerindaan ditentukan dengan mencocokkan warna dari tiap area dengan warna spesimen pembanding, lalu mengalikan suhu dari warna spesimen pembanding dengan prosentase masing-masing area. Temperatur keseluruhan dari spesimen diperoleh dengan menjumlahkan temperatur dari masing-masing area. Area yang dipilih untuk diukur temperaturnya adalah area dimana proses penggerindaan sudah *steady*. Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk temperatur penggerindaan spesimen dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide* pada kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman makan 0,01 mm.

Area 1 cocok dengan warna spesimen pembanding suhu 325°C

Area 2 cocok dengan warna spesimen pembanding suhu 375°C

Area 3 cocok dengan warna spesimen pembanding suhu 425°C

$$\begin{aligned}\text{Jadi temperatur penggerindaan} &= (0,152 \times 325^\circ\text{C}) + (0,297 \times 375^\circ\text{C}) + (0,551 \times \\ &\quad 425^\circ\text{C}) \\ &= 49,4^\circ\text{C} + 111,375^\circ\text{C} + 234,175^\circ\text{C} \\ &= 395^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Analisis variansi (ANAVA) digunakan untuk mengetahui variabel proses mana yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap temperatur. Analisis variansi (ANAVA) untuk temperatur berdasarkan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Analisis variansi (ANAVA) variabel proses terhadap *surface burning*

Source	DF	SS	MS	F	<i>p</i> - value
A	1	17484	17484	21,41	0,001
B	2	10582	5291	6,48	0,012
C	2	42727	21363	26,16	0,000
Error	12	9799	817		
Total	17	80592			

Sumber: Hasil perhitungan



Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar dari  $F_{tabel}$  menunjukkan bahwa variabel proses tersebut mempunyai pengaruh signifikan terhadap *surface burning*. Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

1. Untuk variabel proses A (tipe abrasif)

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2$$

$$H_1 : \alpha_1 \neq \alpha_2$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 21,41 > F_{(0,05;1;12)} = 4,75$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses tipe abrasif terhadap *surface burning*.

2. Untuk variabel proses B (kecepatan makan).

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \beta_j \neq 0$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 6,48 < F_{(0,05;2;12)} = 3,89$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses kecepatan makan terhadap *surface burning*.

3. Untuk variabel proses C (kedalaman potong).

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada satu } \tau_k \neq 0$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 26,16 > F_{(0,05;2;12)} = 3,89$ , maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh variabel proses kedalaman potong terhadap *surface burning*.

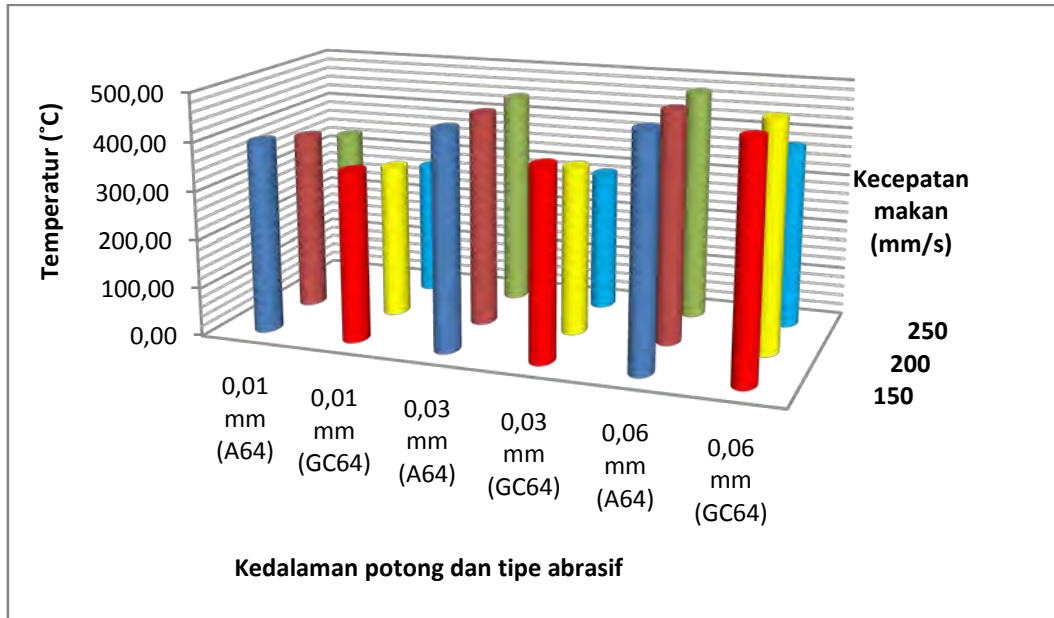
Berdasarkan uji hipotesis distribusi F, maka variabel proses yang mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap *surface burning* adalah tipe abrasif dan kedalaman potong, sedangkan kecepatan makan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap gaya potong. Kesimpulan pengaruh untuk masing-masing variabel proses terhadap temperatur *surface burning* ditunjukkan pada tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Kesimpulan pengaruh variabel proses terhadap temperatur *surface burning*

Sumber Variasi	Kesimpulan
Tipe Abrasif	berpengaruh
Kecepatan Makan	berpengaruh
Kedalaman Potong	berpengaruh



Hubungan antara kedalaman potong, tipe abrasif dan kecepatan makan terhadap temperatur dapat juga ditunjukkan oleh histogram pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Histogram hubungan tipe abrasif, kecepatan makan dan kedalaman potong terhadap temperatur *surface burning*.

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa:

1. Penggunaan tipe abrasif yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan temperatur yang signifikan, yaitu penggunaan abrasif tipe *Green Silicone* menghasilkan temperatur yang lebih rendah.
2. Penggunaan kecepatan makan yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan temperatur yang signifikan.
3. Penambahan kedalaman potong memberikan perbedaan yang signifikan terhadap temperatur, yaitu semakin besar kedalaman potong yang digunakan maka temperatur penggerindaan juga menjadi lebih besar.

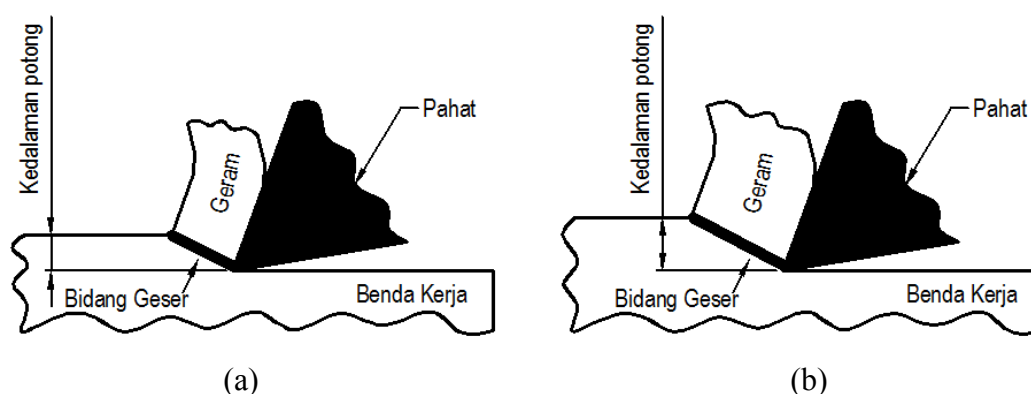
*Surface burning* pada permukaan benda kerja ditandai dengan perubahan warna dari permukaan benda kerja hasil proses gerinda. Secara visual perubahan warna yang terjadi adalah dari warna coklat cerah berangsur-angsur berubah menjadi lebih gelap hingga menjadi warna biru kehitaman. Perubahan warna ini merupakan indikator bahwa kerusakan termal telah terjadi dan jika tidak





dikendalikan dengan benar maka akan terjadi kerusakan permukaan yang lebih lanjut.

Kedalaman potong yang rendah membuat bidang geser yang terjadi saat proses pemotongan kecil, sehingga ukuran geram yang diperoleh juga kecil. Bidang geser yang kecil menyebabkan temperatur yang rendah, sehingga derajat *burning* juga semakin kecil. Pemakaian kedalaman potong yang tinggi membuat bidang geser yang terjadi juga ikut membesar, sebagai akibatnya temperatur naik menjadi sangat tinggi, sehingga derajat *burning* menjadi semakin meningkat juga. Ilustrasi perbedaan kedalaman potong terhadap bidang geser dan geram yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Bidang geser dan geram yang dihasilkan pada kedalaman potong  
(a) rendah dan (b) besar

Variabel proses kecepatan makan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada derajat *burning* secara statistik, akan tetapi apabila dilihat dari derajat *burning* yang terjadi adalah semakin tinggi kecepatan makan, maka derajat *burning* semakin berkurang karena waktu kontak pada saat gesekan yang terjadi antara roda gerinda dengan benda kerja semakin singkat, sehingga tidak cukup waktu untuk terjadinya temperatur yang tinggi.

Variabel proses ketiga yang berpengaruh terhadap derajat *burning* adalah tipe abrasif dari roda gerinda. Hal ini dapat diamati dengan membandingkan derajat *burning* yang terjadi pada Gambar 4.11. Dalam penelitian ini roda gerinda dengan tipe abrasif *Green Silicone* yang ditujukan untuk penggerindaan material DAC yang telah dikeraskan menghasilkan derajat *burning* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan roda gerinda dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide* yang



ditujukan untuk penggerindaan secara umum. Hal ini disebabkan oleh kekerasan roda gerinda tipe *Green Silicone* lebih rendah dibandingkan kekerasan roda gerinda tipe *Aluminum Oxide*. Dengan kekerasan yang lebih rendah maka butiran abrasif pada tipe abrasif *Green Silicone* akan lebih mudah lepas daripada butiran abrasif pada tipe abrasif *Aluminum Oxide*. Sebaliknya, dengan kekerasan yang lebih tinggi maka butiran abrasif tidak mudah lepas tetapi akan aus, sehingga membuat penggerindaan didominasi oleh proses *ploughing* dan *rubbing*. Kondisi ini menyebabkan temperatur daerah penggerindaan bertambah tinggi. Temperatur daerah penggerindaan yang bertambah tinggi akan menyebabkan derajat *burning* bertambah tinggi juga.

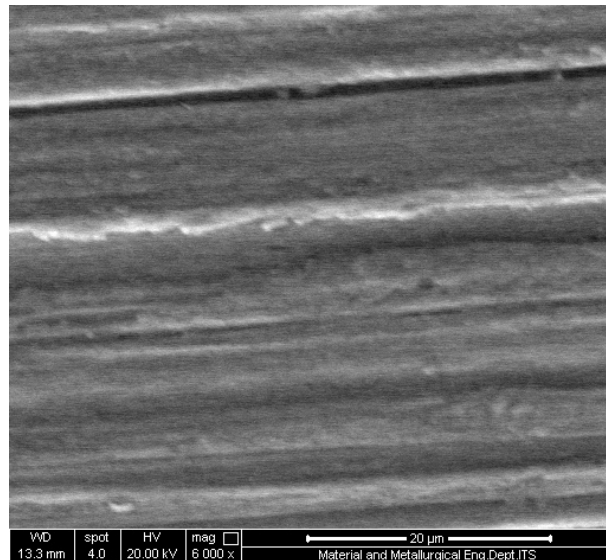
Selain variabel-variabel proses yang sudah disebutkan diatas, variabel proses lain yang berpengaruh terhadap *burning* adalah aplikasi cairan pendingin. Kegagalan pendinginan pada waktu proses gerinda permukaan akan menghasilkan gesekan yang tinggi, sehingga mengakibatkan temperatur juga bertambah tinggi. Temperatur yang tinggi pada area gesek antara roda gerinda dan permukaan benda kerja akan disalurkan ke permukaan benda kerja dan butiran abrasif. Hal ini menyebabkan terjadi *burning* pada permukaan benda kerja.

#### **4.5 Pengaruh Variabel Proses Terhadap Kepadatan Retakan**

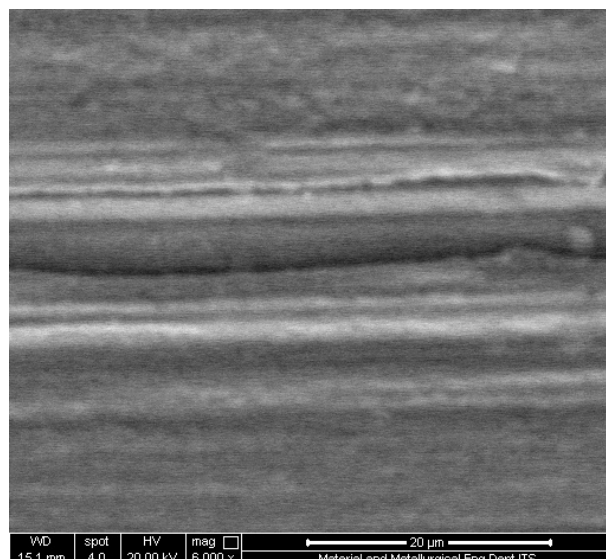
Proses penggerindaan dapat menimbulkan terjadinya retakan pada permukaan benda kerja. Hal ini disebabkan oleh temperatur di daerah penggerindaan yang terlalu tinggi yang kemudian terjadi pendinginan secara cepat, sehingga terjadi tegangan pada permukaan benda kerja. Tegangan yang lebih besar melebihi kemampuan benda kerja mengakibatkan terjadinya retakan. Pengukuran kepadatan retakan yang terjadi pada permukaan benda merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi kinerja dari proses gerinda permukaan. Ukuran dari retakan pada permukaan benda kerja ini sangat kecil dalam satuan mikrometer, sehingga diperlukan alat pembesar untuk mengamati retakan ini. Alat foto SEM *Inspect S50* dengan perbesaran sampai 150.000x digunakan dalam penelitian ini. Benda kerja hasil proses gerinda permukaan yang akan diteliti, dibersihkan dari geram maupun cairan pendingin yang menempel, kemudian diletakkan dalam alat foto SEM untuk diamati. Foto hasil



penggerindaan material dengan tipe abrasif A64K dan GC64K dengan perbesaran 6000x dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14. Hasil foto yang ditampilkan merupakan hasil dari kombinasi variabel yang memberikan respon *surface burning*/temperatur penggerindaan yang paling besar, sehingga diharapkan retak mikro dapat lebih terlihat dengan jelas pada kombinasi tersebut.



Gambar 4.13 Hasil foto SEM permukaan benda kerja hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.



Gambar 4.14 Hasil foto SEM permukaan benda kerja hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *green silicone*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.

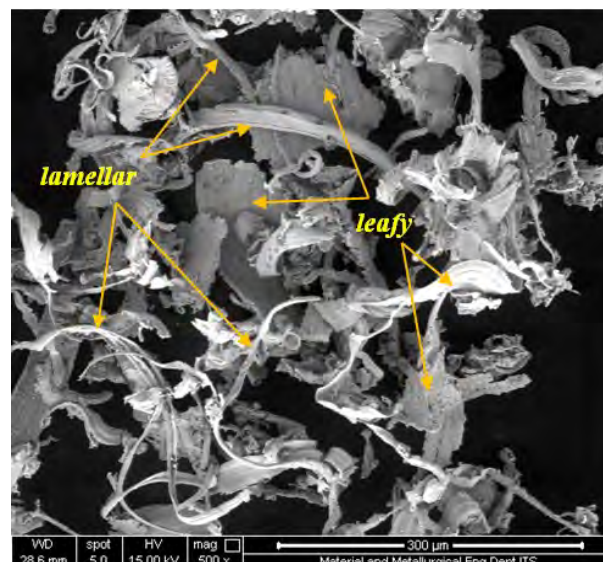




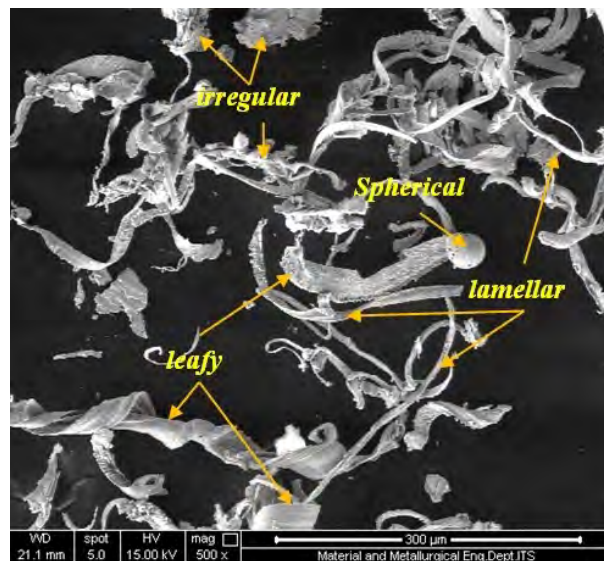
Pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 tidak dapat ditemukan retakan begitu pula dengan kombinasi variabel-proses yang lain, oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak ada pengaruh variabel proses terhadap terjadinya retakan pada proses gerinda permukaan baja perkakas DAC yang telah dikeraskan. Foto hasil SEM pada perbesaran 6000x untuk kombinasi variabel proses yang lain dapat dilihat pada lampiran 4.

#### 4.6 Pengaruh Variabel Proses Terhadap Bentuk Geram

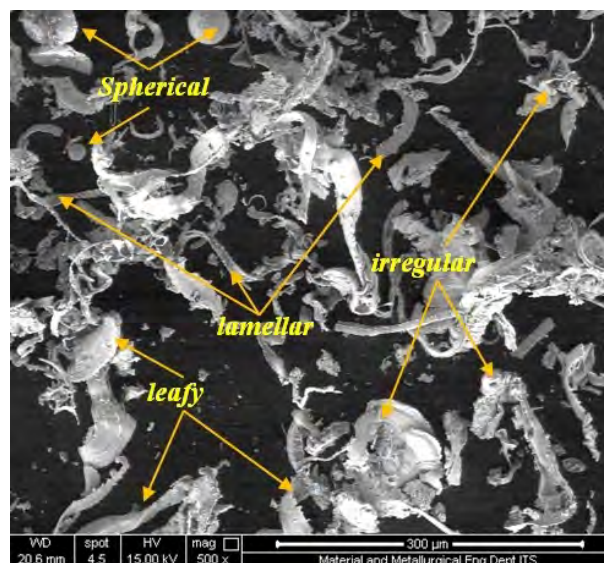
Pengamatan bentuk geram dilakukan dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi bentuk geram yang dihasilkan dari proses gerinda permukaan. Pengamatan SEM untuk bentuk geram dilakukan dengan pembesaran 500x. Kedalaman potong proses gerinda permukaan mempengaruhi bentuk geram. Peningkatan kedalaman potong juga akan meningkatkan besarnya gaya potong dan menaikkan temperatur daerah penggerindaan. Temperatur daerah penggerindaan yang tinggi akan menyebabkan perubahan bentuk pada geram. Gambar 4.15, 4.16, dan 4.17 menunjukkan geram hasil proses gerinda permukaan dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide* pada kecepatan makan 150 mm/s.



Gambar 4.15 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm.



Gambar 4.16 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.



Gambar 4.17 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *Aluminum Oxide*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.

Geram yang dihasilkan pada proses gerinda permukaan mempunyai bentuk-bentuk *lamellar* (panjang), *leafy* (daun), *spherical* (bulat) dan *irregular* (tidak teratur). Gambar 4.15 menunjukkan bahwa pada kedalaman potong 0,01 mm, geram yang terbentuk didominasi oleh bentuk *leafy* dan *lamellar*. Bentuk *lamellar* menunjukkan adanya proses cutting dan geram yang terbentuk tidak mengalami

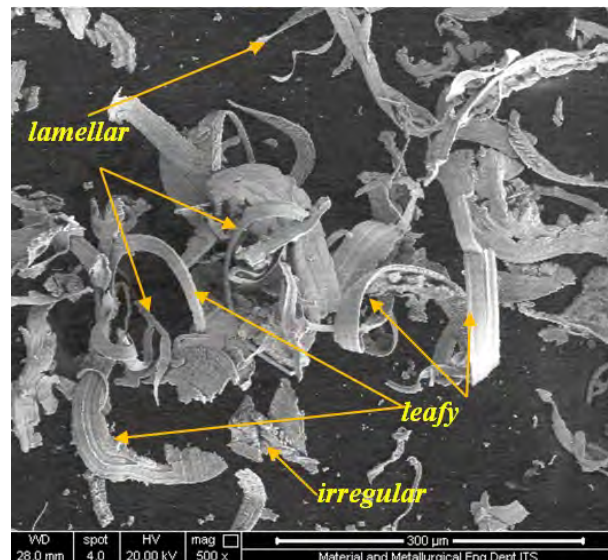


pendinginan secara cepat. Bentuk *leafy* menunjukkan adanya keausan pada roda gerinda yang diakibatkan oleh pematahan butiran abrasif pada roda gerinda. Gambar 4.16 menunjukkan gambar bentuk geram pada kedalaman potong 0,03 mm yang didominasi oleh bentuk *lamellar*, *leafy*, *irregular* dan *spherical*. Geram berbentuk *irregular* menunjukkan terjadinya getaran yang ditimbulkan oleh gesekan benda kerja dan roda gerinda. Geram dengan bentuk *spherical* terjadi karena adanya pemanasan yang berlebih dan oksidasi eksotermis (Dhar dkk., 2006). Gambar 4.17 menunjukkan hasil geram pada kedalaman potong 0,06 mm. Geram yang dihasilkan adalah sama dengan bentuk geram pada kedalaman potong 0,03 mm, akan tetapi dengan bentuk *irregular* dan *spherical* yang lebih banyak. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kedalaman potong 0,06 mm keausan butiran abrasif dan temperatur yang terjadi lebih tinggi jika dibandingkan dengan pada kedalaman potong 0,03 mm. Pada kedalaman potong 0,03 mm dan 0,06 mm terlihat adanya geram yang berupa patahan kecil-kecil. Hal ini menunjukkan ada proses *fracturing* pada proses gerinda permukaan tersebut.

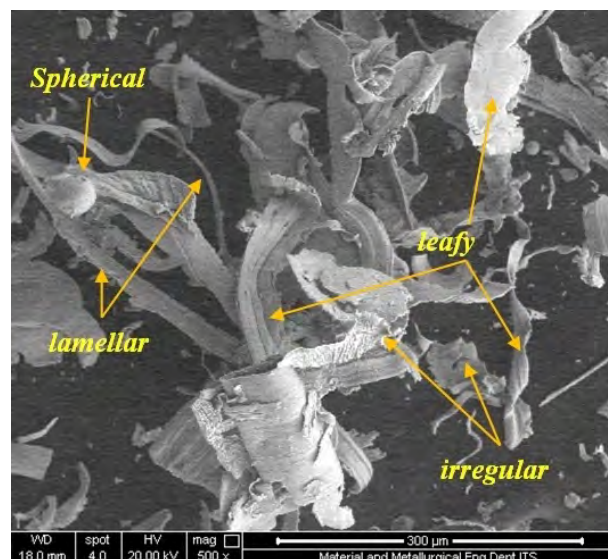
Perbedaan tipe abrasif tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap mode pembentukan geram pada pendinginan menggunakan *soluble oil*. Hal ini dapat dilihat dari bentuk geram yang dihasilkan hampir sama pada penggunaan kedua batu gerinda. Perbedaan hanya terlihat pada ukuran dan proporsi geram yang dihasilkan. Gambar 4.18 menunjukkan pada kedalaman potong 0,01 mm, bentuk geram masih didominasi oleh bentuk *leafy* dan *lamellar*. Pada penggunaan tipe abrasif *Green Silicone*, geram bentuk *lamellar* dan *leafy* terlihat lebih lebar jika dibandingkan dengan penggunaan tipe abrasif *Aluminum Oxide*. Hal ini disebabkan oleh ujung dari butiran abrasif yang mengalami keausan, sehingga menjadi kurang runcing dan membuat bentuk geram menjadi lebih lebar. Geram berbentuk *irregular* mulai muncul pada penggunaan tipe abrasif *Green Silicone* dengan kedalaman 0,01 mm. Hal ini disebabkan oleh ujung butiran abrasif yang mulai tumpul, sehingga pada saat roda gerinda bergesekan dengan benda kerja terjadilah getaran. Penggunaan tipe abrasif *Green Silicone* pada kedalaman potong 0,03 mm dan 0,06 mm menghasilkan geram dengan bentuk yang sama apabila dibandingkan dengan penggunaan tipe abrasif *Aluminum Oxide*. Perbedaannya adalah bentuk *irregular* dan *spherical* yang muncul terlihat lebih banyak pada



penggunaan tipe abrasif *green silicone*. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa tipe abrasif *Aluminum Oxide* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tipe *Green Silicone*.

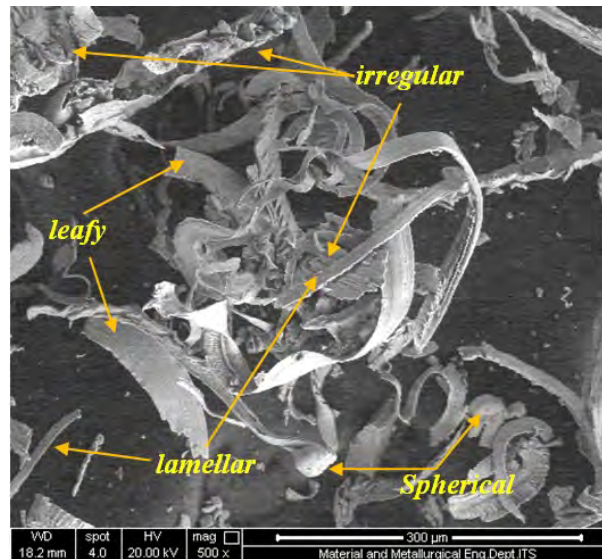


Gambar 4.18 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *green silicone*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.01 mm.



Gambar 4.19 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *green silicone*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.03 mm.





Gambar 4.20 Foto SEM geram dengan tipe abrasif *green silicone*, kecepatan makan 150 mm/s dan kedalaman potong 0.06 mm.

Pengaruh kedalaman potong terhadap bentuk geram pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Pengaruh kedalaman potong terhadap bentuk geram

Variabel proses		Tipe Abrasif	
		<i>Aluminum Oxide</i>	<i>Green Silicone</i>
Kedalaman Potong (mm)	0.01	<i>Lamellar, leafy</i>	<i>Lamellar, leafy, Irregular</i>
	0.03	<i>Lamellar, leafy, spherical, irregular</i>	<i>Lamellar, leafy, spherical, irregular</i>
	0.06	<i>Lamellar, leafy, spherical, irregular</i>	<i>Lamellar, leafy, spherical, irregular</i>

#### 4.7 Diskusi dan Pembahasan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini maka pengaruh-pengaruh dari variabel proses terhadap variabel respon adalah sebagai berikut:

- Tipe abrasif dengan kekerasan yang tinggi membuat butiran abrasif tidak mudah patah, sehingga pada penggunaan material yang keras akan terjadi



keausan pada butir abrasif yang mengakibatkan gaya potong bertambah besar. Hal ini menyebabkan temperatur daerah penggerindaan naik, sehingga mengakibatkan derajat *burning* bertambah besar serta kekasaran permukaan semakin tinggi. Penggunaan tipe abrasif yang lebih lunak pada kedalaman potong yang tinggi untuk penggerindaan material yang keras mengakibatkan terjadinya abrasi pada batu gerinda, sehingga kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan menjadi lebih besar.

- b. Kecepatan makan yang lebih tinggi menyebabkan waktu kontak roda gerinda dengan benda kerja menjadi lebih singkat. Hal ini menyebabkan derajat *burning* berkurang karena waktu gesek menjadi lebih singkat, sehingga tidak terjadi temperatur penggerindaan yang tinggi. Semakin besar kecepatan makan, beban yang diterima batu gerinda akan semakin besar, sebagai akibatnya terjadi pematahan butiran abrasif tidak beraturan, sehingga menjadikan kekasaran permukaan yang lebih tinggi, meskipun gaya potong akan lebih rendah karena kedalaman potong menjadi lebih kecil.
- c. Kedalaman potong yang tinggi membuat gaya potong, kekasaran permukaan, dan derajat *burning* bertambah besar. Hal ini disebabkan oleh bidang geser yang bertambah lebar pada penggunaan kedalaman potong yang lebih tinggi, sehingga dapat mengakibatkan gaya potong menjadi lebih besar. Peningkatan kekasaran permukaan disebabkan karena pada kondisi ini butiran abrasif yang terdapat di permukaan roda gerinda akan lebih banyak bergesekan dengan benda kerja, sehingga permukaan hasil penggerindaan mempunyai celah yang lebar. Selain itu, kedalaman potong yang tinggi juga menyebabkan temperatur daerah penggerindaan meningkat, akibatnya dapat terbentuk *globule* pada permukaan benda kerja. Proses gerinda permukaan dengan menggunakan kedalaman potong yang rendah menghasilkan geram dengan bentuk *lamellar* dan *leafy*. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme pembentukan geram pada kedalaman potong yang rendah didominasi oleh proses *cutting*. Proses gerinda permukaan dengan menggunakan kedalaman potong yang tinggi menghasilkan geram dengan bentuk *leafy*, *spherical*, *lamellar* dan *irregular* yang mengindikasikan bahwa pada kedalaman potong yang tinggi mekanisme



pembentukan geram terdiri dari proses *cutting*, *rubbing*, *ploughing* dan *fracturing*.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tipe abrasif (A64K dan GC64K), variabel proses gerinda permukaan yaitu kecepatan makan (150 mm/s, 200 mm/s, 250 mm/s) dan kedalaman potong (0,01 mm, 0,03 mm, 0,06 mm) terhadap gaya potong, IPBK dan MPG pada material baja perkakas DAC yang telah dikeraskan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variabel proses yang berpengaruh signifikan terhadap gaya potong adalah kedalaman potong. Penambahan kedalaman potong membuat bidang geser bertambah lebar, sehingga butiran abrasif yang terdapat di permukaan roda gerinda akan lebih banyak bergesekan dengan benda kerja yang mengakibatkan gaya potong bertambah besar.
2. Variabel-variabel proses yang berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan adalah tipe abrasif dan kedalaman potong.
  - a. Penggunaan tipe abrasif *aluminum oxide* menyebabkan kekasaran permukaan benda kerja semakin rendah karena butiran abrasifnya tidak mudah aus.
  - b. Kedalaman potong yang tinggi membuat butiran abrasif yang terdapat di permukaan roda gerinda akan lebih banyak bergesekan dengan benda kerja, sehingga mengakibatkan butiran abrasif menjadi cepat aus. Keausan butiran abrasif menyebabkan proses pemotongan lebih didominasi oleh *rubbing* dan *ploughing* sehingga permukaan hasil penggerindaan menjadi lebih kasar.
3. Derajat *burning* pada proses gerinda permukaan dipengaruhi oleh kedalaman potong, kecepatan makan dan tipe abrasif.
  - a. Tipe abrasif A64K menyebabkan derajat *burning* bertambah karena butiran abrasif yang tidak mudah terlepas saat terjadi temperatur penggerindaan yang tinggi.





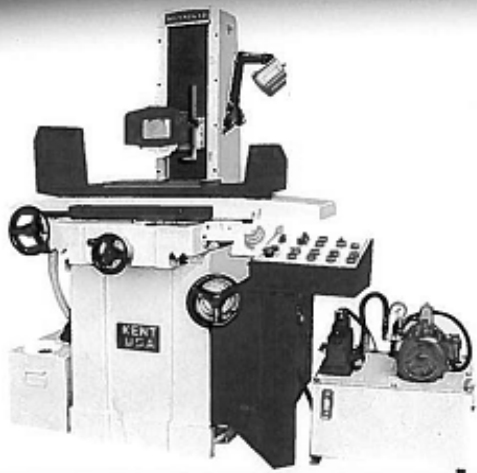
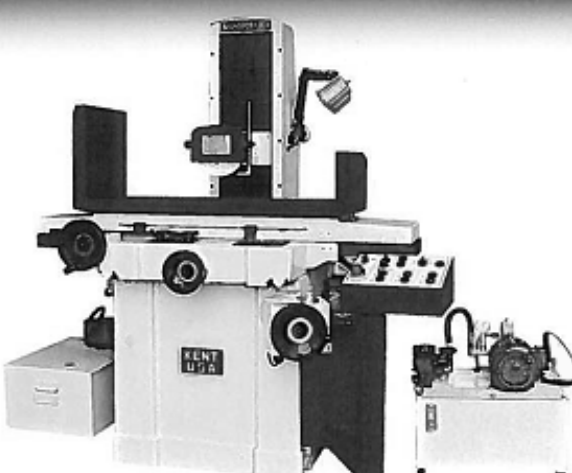
- b. Kecepatan makan yang tinggi menyebabkan derajat *burning* berkurang karena waktu kontak dengan benda kerja menjadi lebih singkat.
- c. Kedalaman potong yang tinggi menyebabkan derajat *burning* meningkat.
4. Tidak ditemukan adanya retakan pada proses penggerindaan material baja perkakas DAC yang telah dikeraskan.
5. Proses gerinda permukaan dengan menggunakan kedalaman potong 0,01 mm pada penggunaan roda gerinda tipe A64K menghasilkan geram dengan bentuk *lamellar* dan *leafy*, sedangkan pada penggunaan roda gerinda GC64K diperoleh geram dengan bentuk geram *lamellar*, *leafy* dan *irregular*. Penggunaan kedalaman potong yang lebih besar (0,03 mm) menghasilkan geram dengan bentuk *leafy*, *spherical*, *lamellar* dan *irregular* pada penggunaan kedua tipe roda gerinda. Pada penggunaan kedalaman potong 0,06 mm geram yang dihasilkan sama dengan penggunaan kedalaman potong 0,03 mm akan tetapi dengan bentuk *spherical* dan *irregular* yang lebih banyak.

## 5.2 Saran

Untuk melengkapi penelitian yang telah dilakukan ini, disarankan untuk melakukan pengukuran temperatur dengan alat atau metode lain agar dapat dilakukan perbandingan. Analisis lain yang dapat dilakukan yang berhubungan dengan pengaruh temperatur diantaranya adalah transformasi fasa, pelunakan (*tempering*) dari lapisan permukaan, tegangan sisa, retakan dan penurunan ketahanan material terhadap kelelahan.

## Lampiran 1

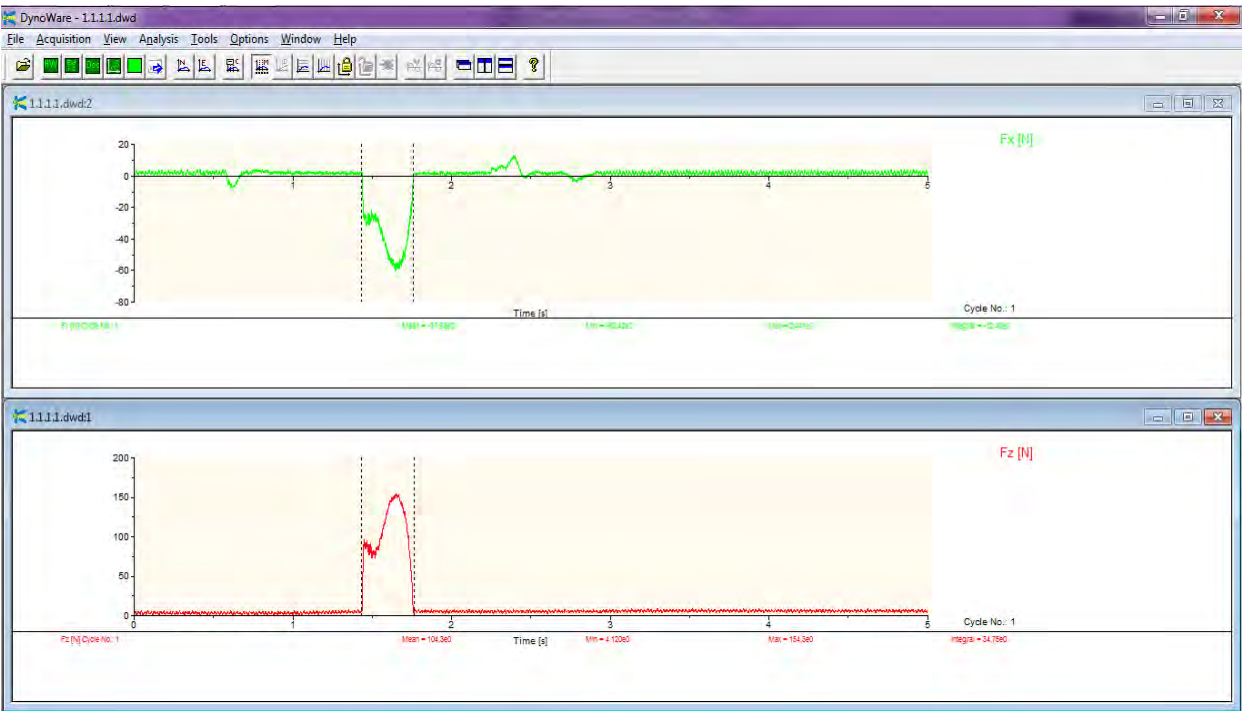
### Spesifikasi Mesin Gerinda Permukaan KGS818AH

KGS - 818 / 1020 / 1024 SERIES		KENT USA®		
				
KGS - 818AH		KGS - 1020AHD		
Unit		KGS818AH/AHD	KGS1020AH/AHD	KGS1024AH/AHD
Working Surface of Table	mm	200X460(8"X18")	255X510(10"X20")	255X610(10"X24")
Max. Table Travel	mm	510	575	675
Max. Cross Travel	mm	250	280	280
Distance Between Table Surface and Spindle Center	mm	530	535	675
Max. Table Load	kgs	150	300	300
Tee Slot (NumberXWidth)	mm	1X14	1X14	1X14
Table Speed	m/min	0-25	5-25	5-25
Crossfeed Handwheel	1grad	0.02	0.02	0.02
	1rev	5	5	5
Automatic Crossfeed of Saddle	mm	-0.5-12/0.5-12	0.5-12	0.5-12
Power Cross Feed	50Hz	780	790	790
	60Hz	950	850	950
Grinding Wheel	mm	200X25X32/31.75	200X25X32/31.75	200X25X32/31.75
Spindle Speed	50Hz	2850	2850	2850
	60Hz	3420	3420	3420
Vertical Handwheel	1grad	0.01/0.01/0.001	0.01	0.01
	1rev	2	2	2
Automatic Down Feed Rate	mm	-0.002-0.2	-0.002-0.2	-0.002-0.2
Power Head Increment	mm	-	-	-
Spindle Motor	kw	1.5	2.2	2.2
Vertical Motor	kw	-	-	-
Hydraulic Motor	kw	1.5	1.5	1.5
Dust Collection Motor	w	550	550	550
Coolant Motor	w	90	90	90
Crossfeed Motor	kw	-60/60	60	60
Floor Space	mm	2500X1900	1900X2300	1900X2300
Packing Dimensions	mm	1570X1990X2120	1680X2030X2110	1680X2130X2110
Net Weight	kgs	1280/1280/1320	1655/1680	1700/1730
Gross Weight	kgs	1480/1480/1520	1905/1930	1950/1980

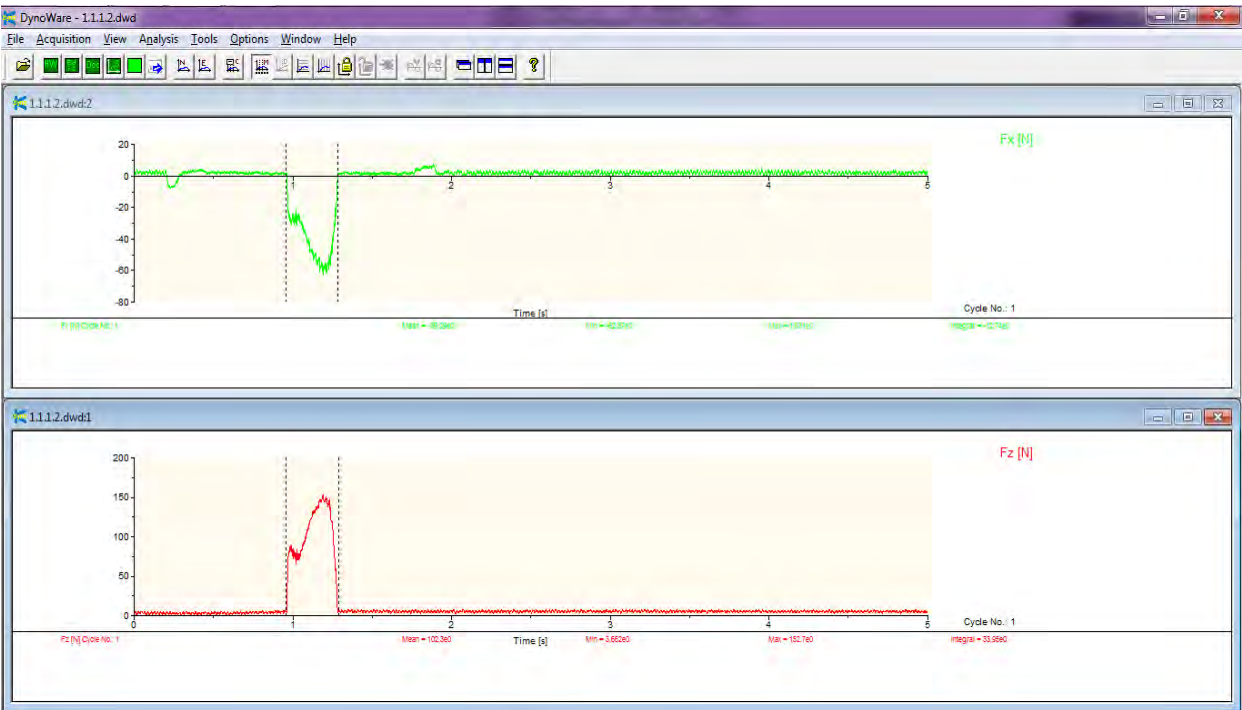
Sumber: KENT, USA

Lampiran 2

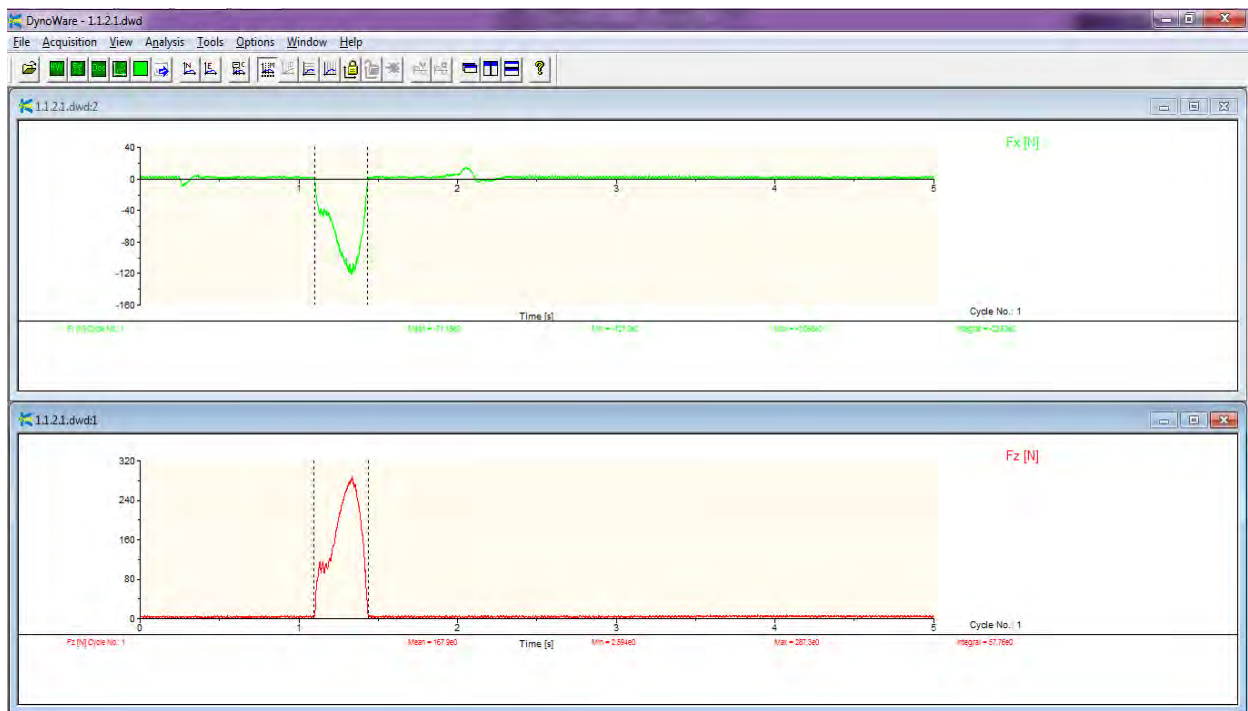
Hasil Pengukuran Gaya Potong



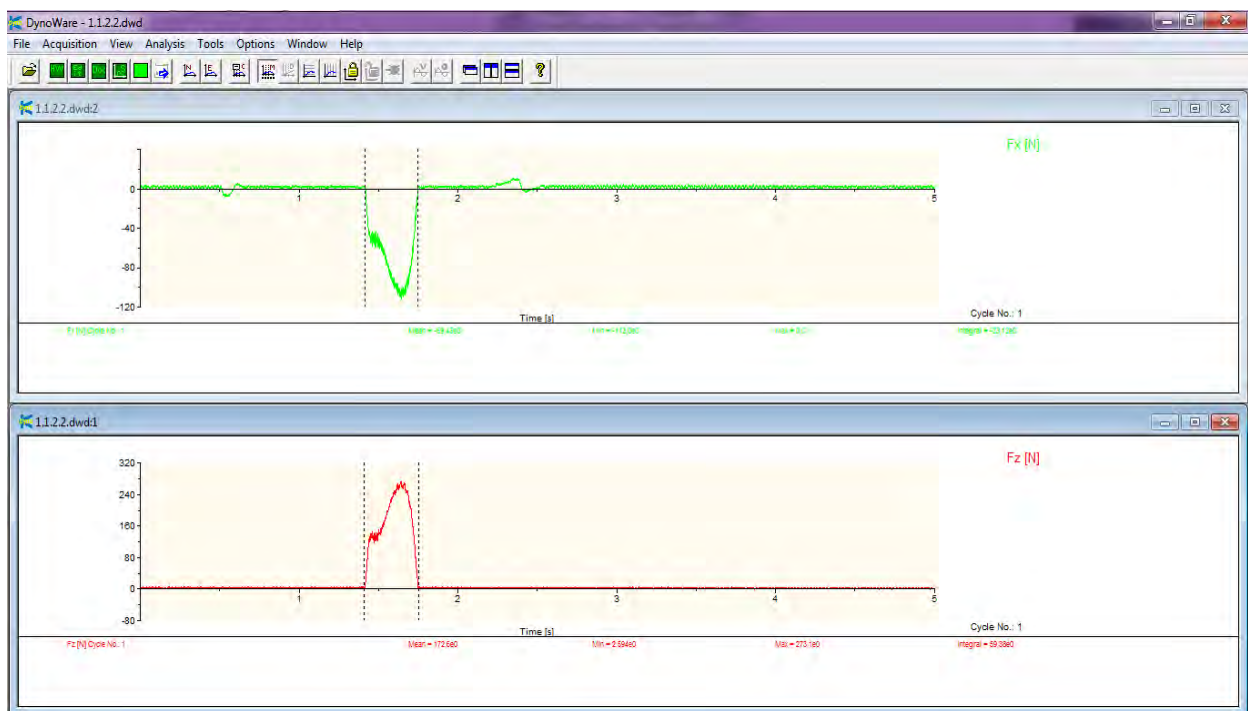
Gambar gaya potong kombinasi 1.1.1 Replikasi 1



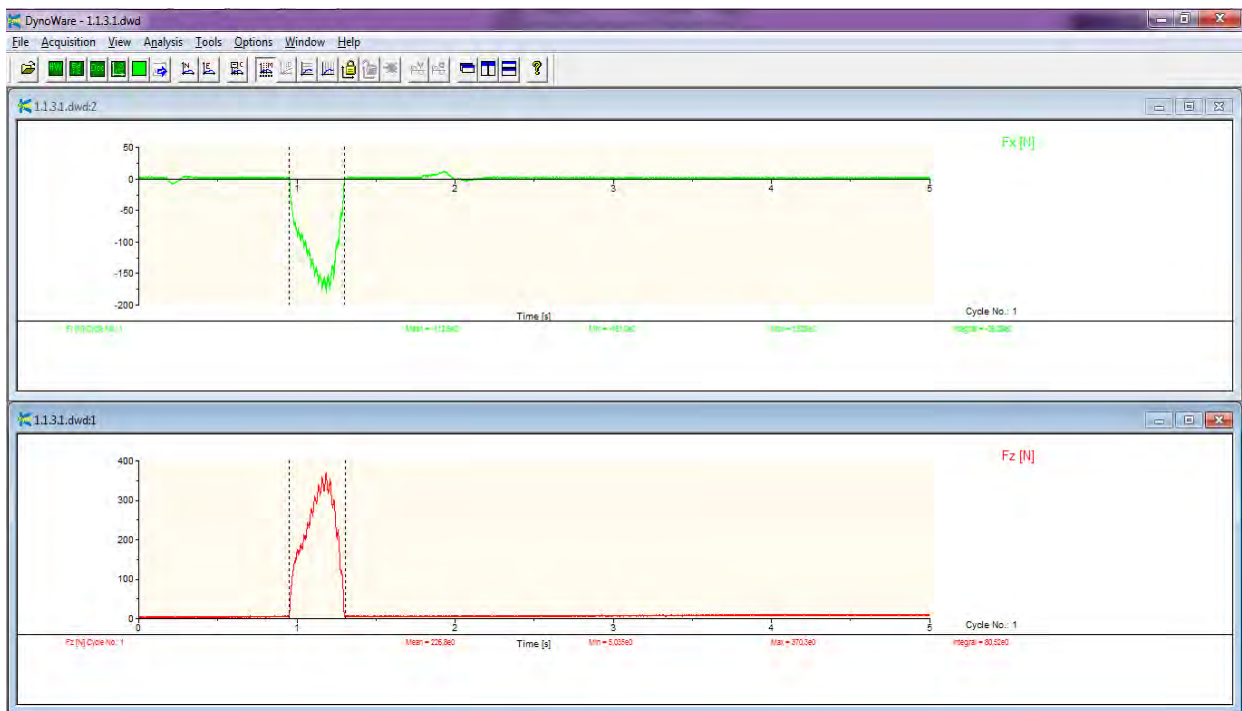
Gambar gaya potong kombinasi 1.1.1 Replikasi 2



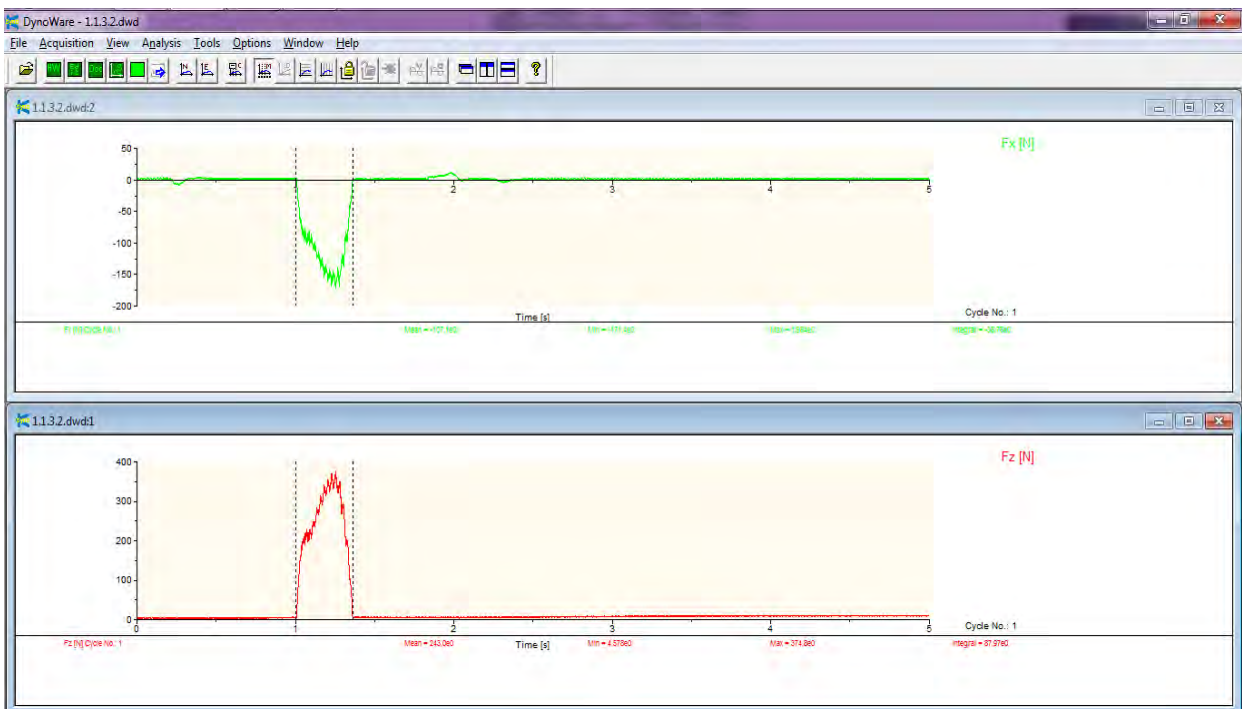
Gambar gaya potong kombinasi 1.1.2 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 1.1.2 Replikasi 2

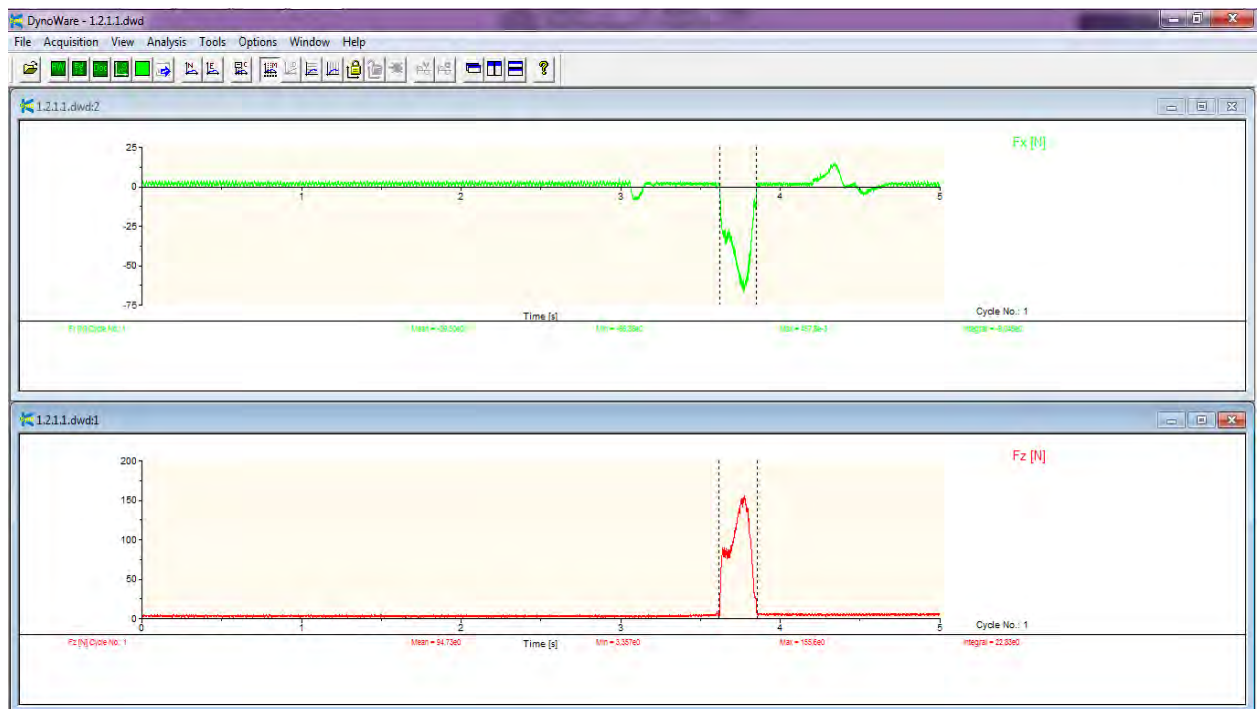


Gambar gaya potong kombinasi 1.1.3 Replikasi 1

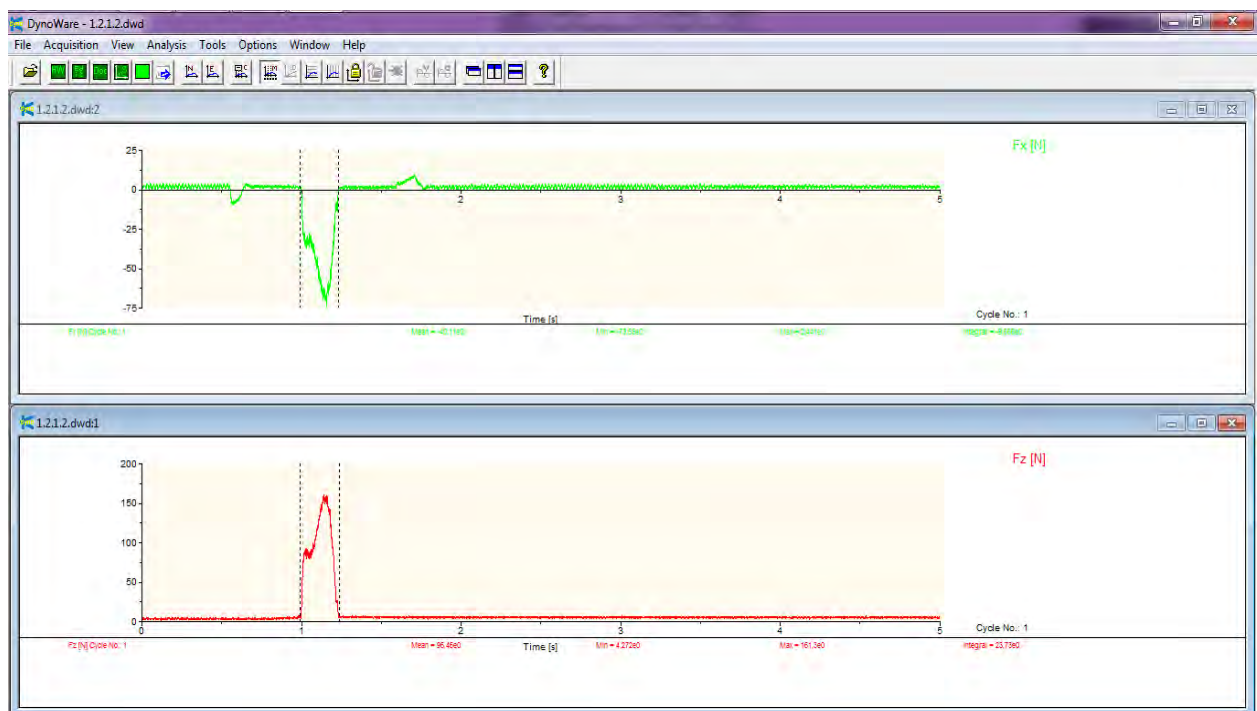


Gambar gaya potong kombinasi 1.1.3 Replikasi 2

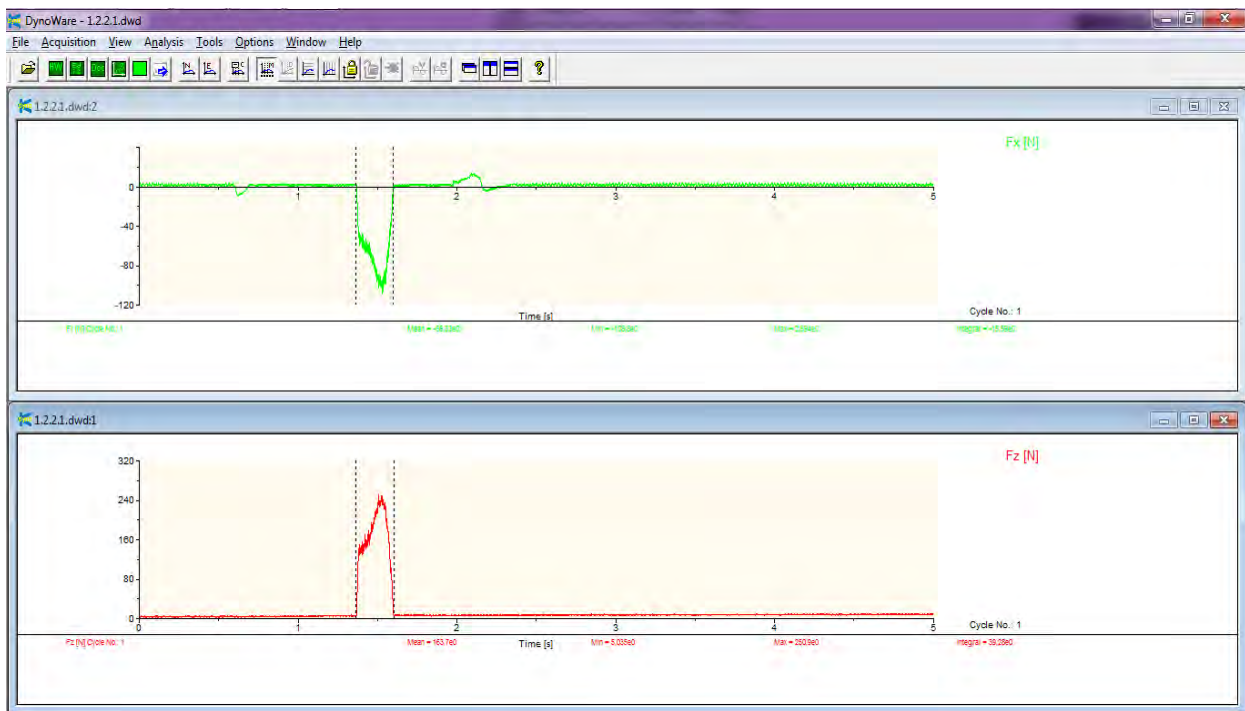




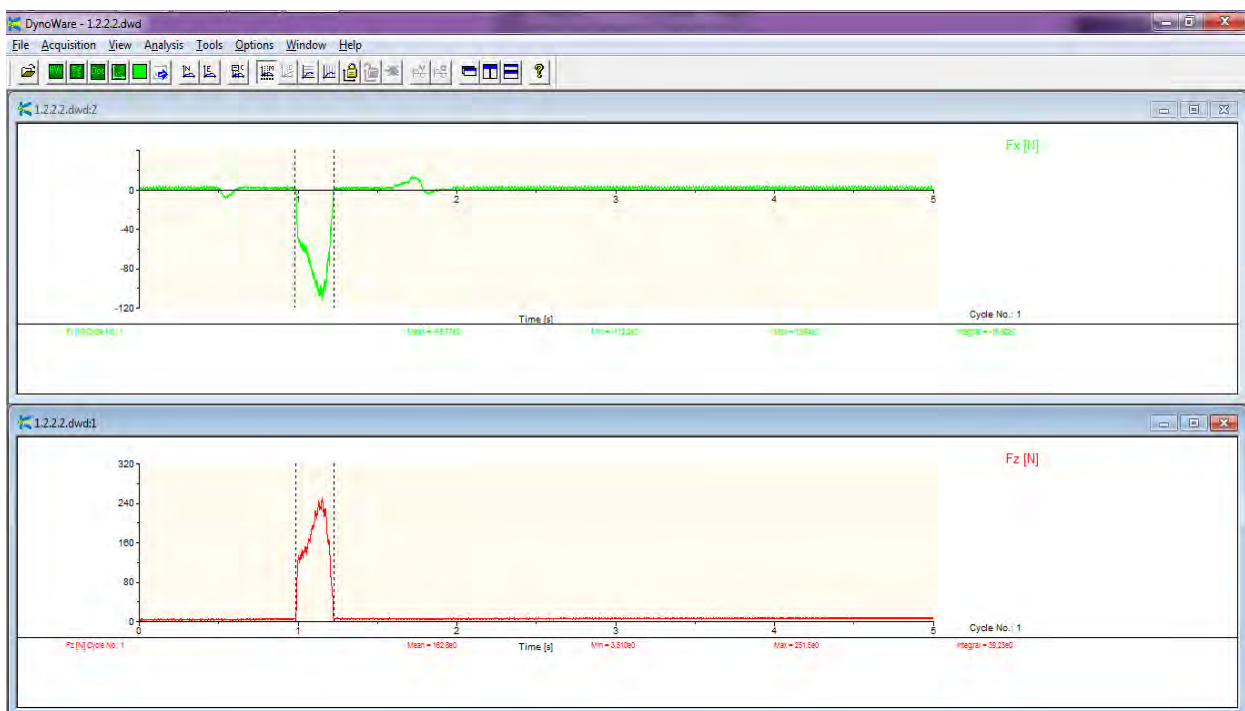
Gambar gaya potong kombinasi 1.2.1 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 1.2.1 Replikasi 2



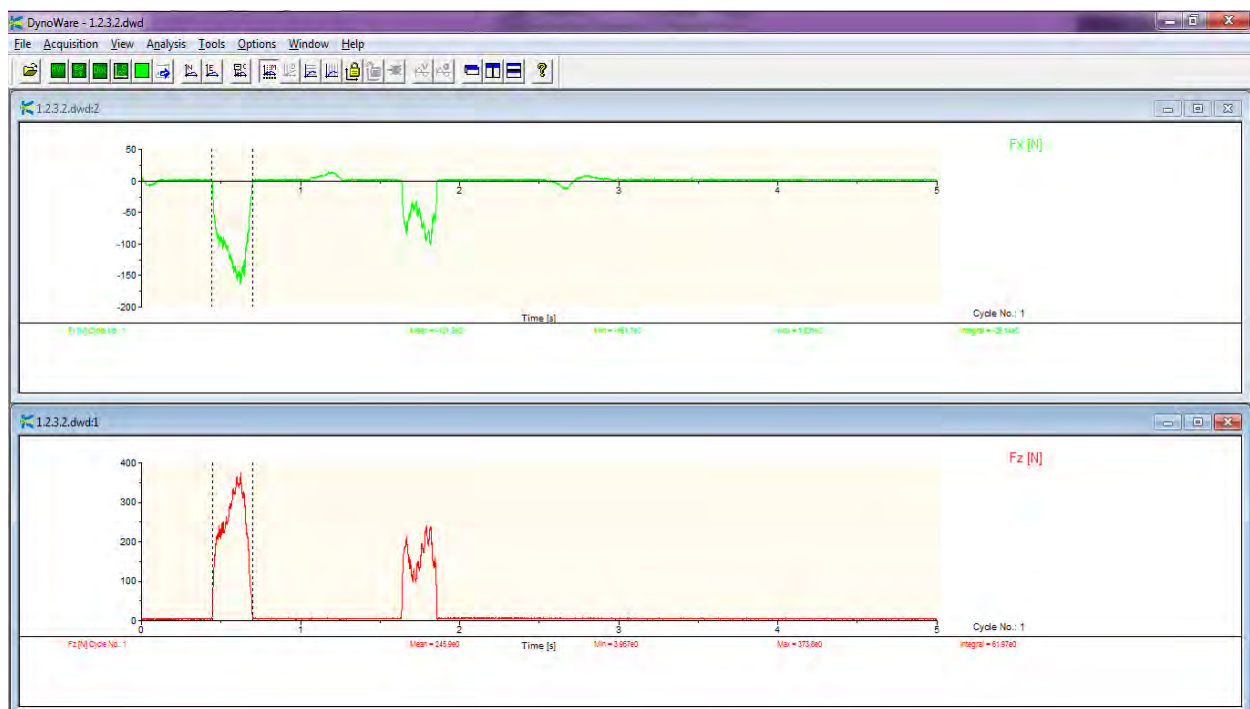
Gambar gaya potong kombinasi 1.2.2 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 1.2.2 Replikasi 2

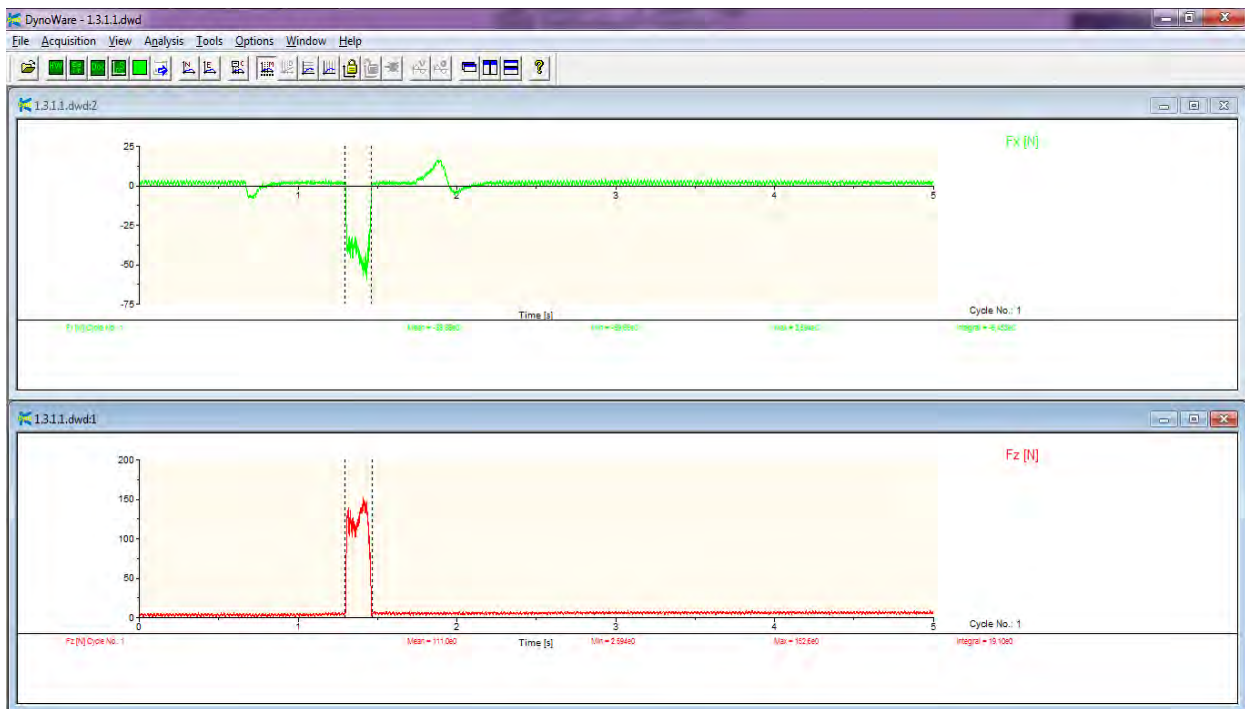


Gambar gaya potong kombinasi 1.2.3 Replikasi 1

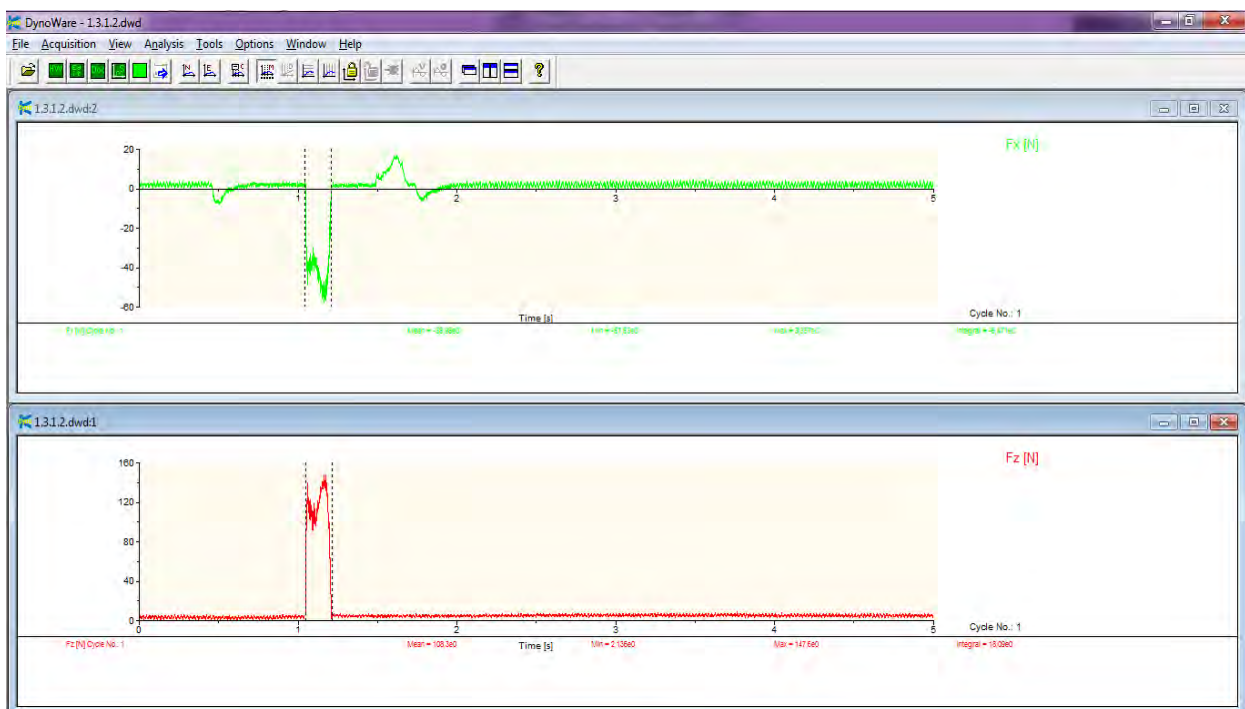


Gambar gaya potong kombinasi 1.2.3 Replikasi 2

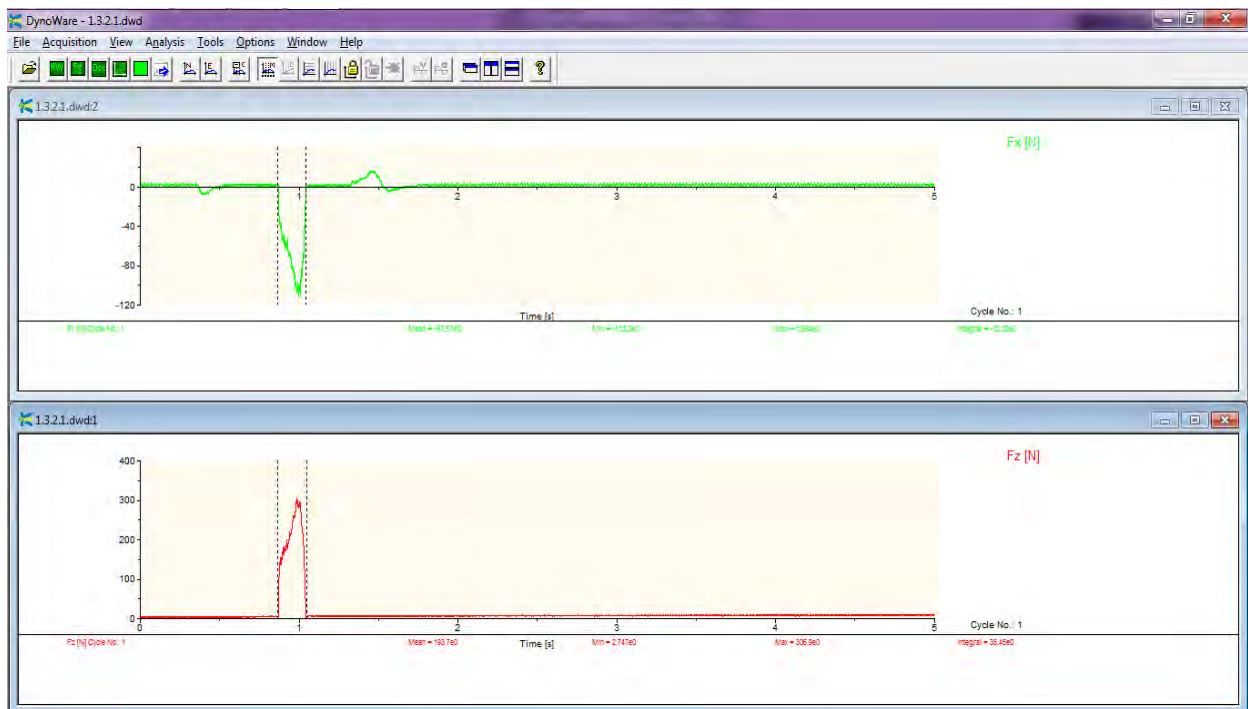




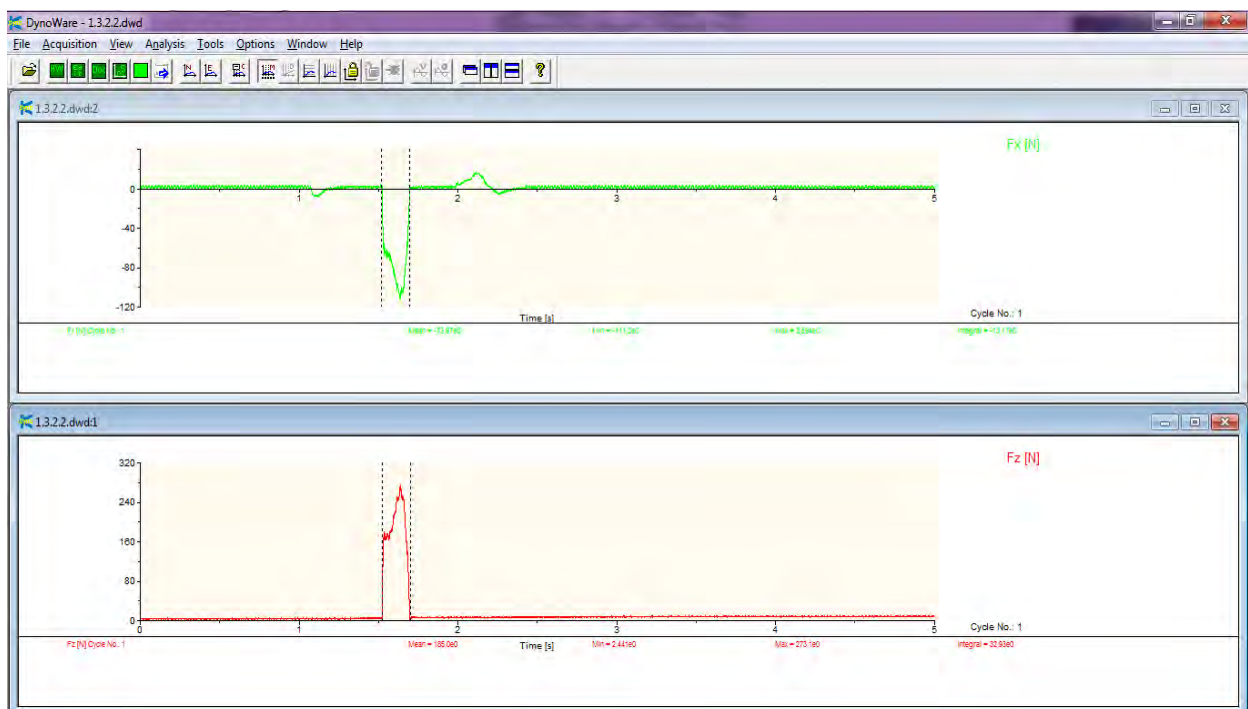
Gambar gaya potong kombinasi 1.3.1 Replikasi 1



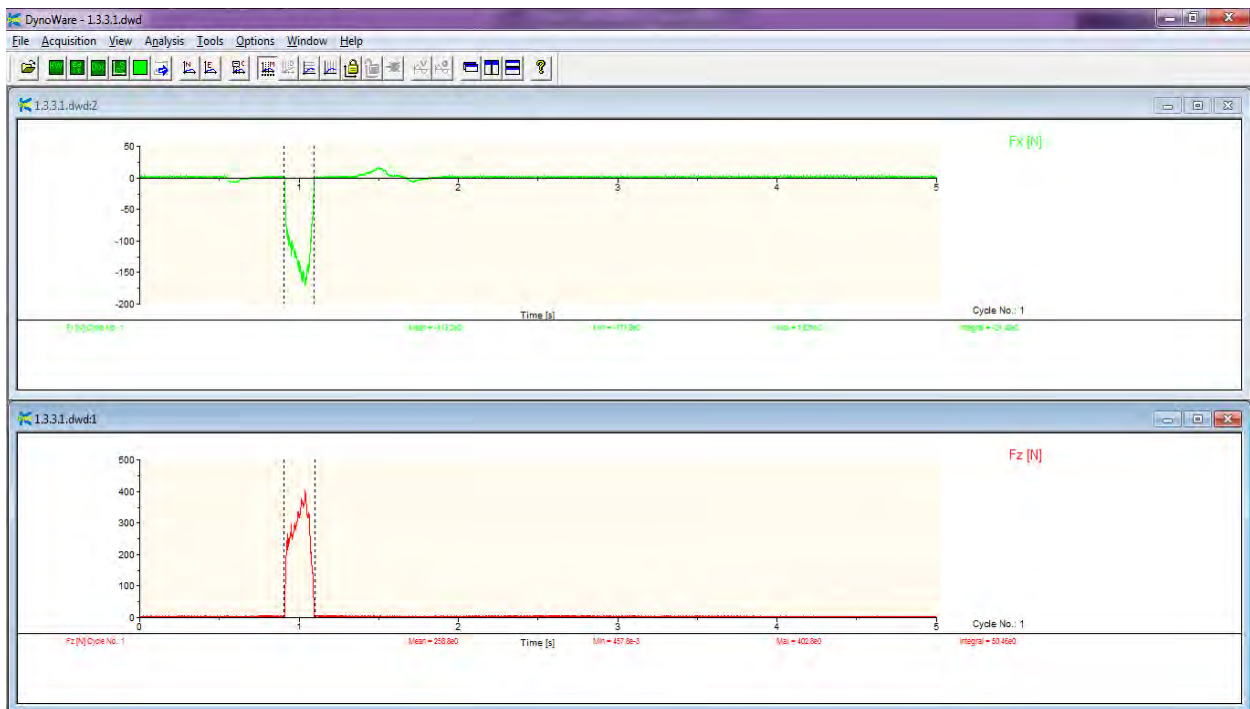
Gambar gaya potong kombinasi 1.3.1 Replikasi 2



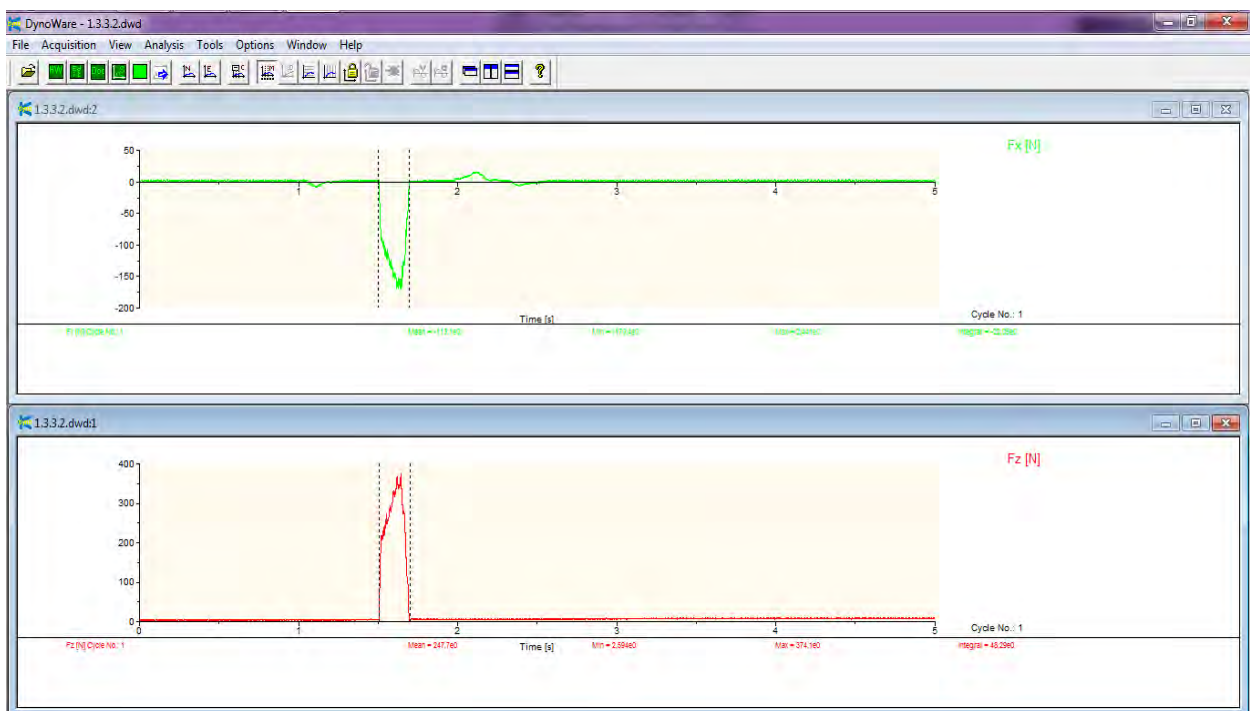
Gambar gaya potong kombinasi 1.3.2 Replikasi 1



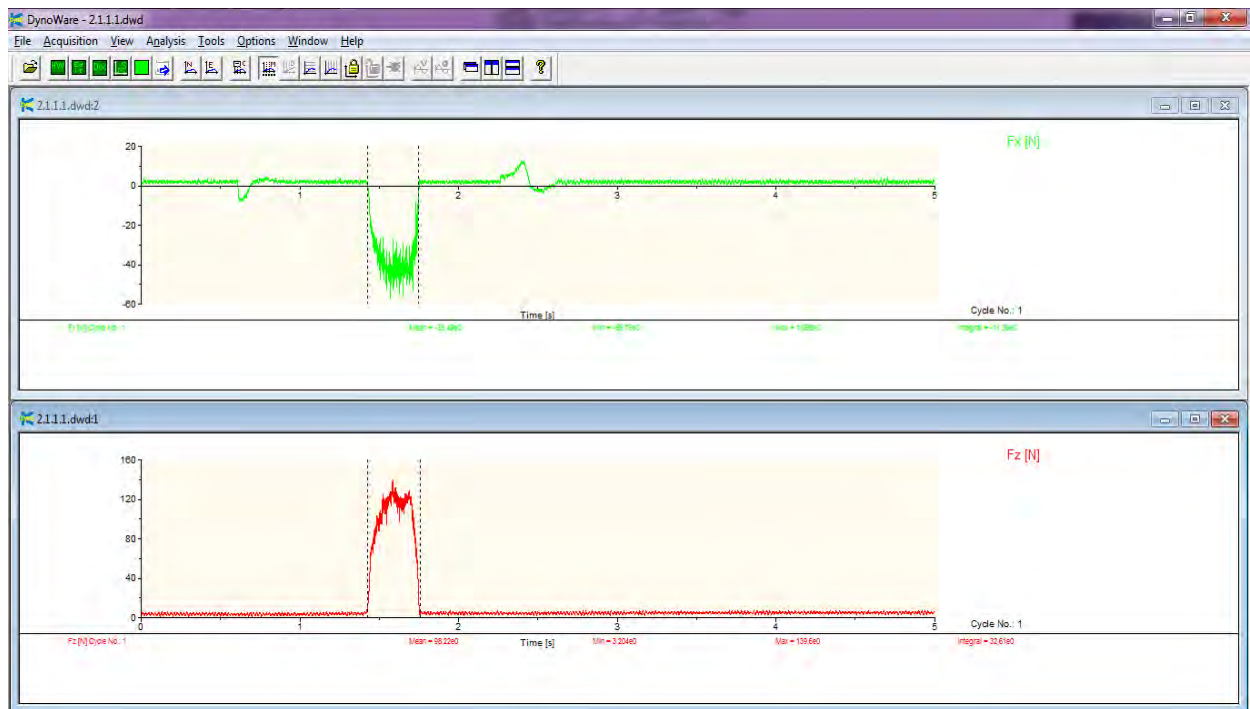
Gambar gaya potong kombinasi 1.3.2 Replikasi 2



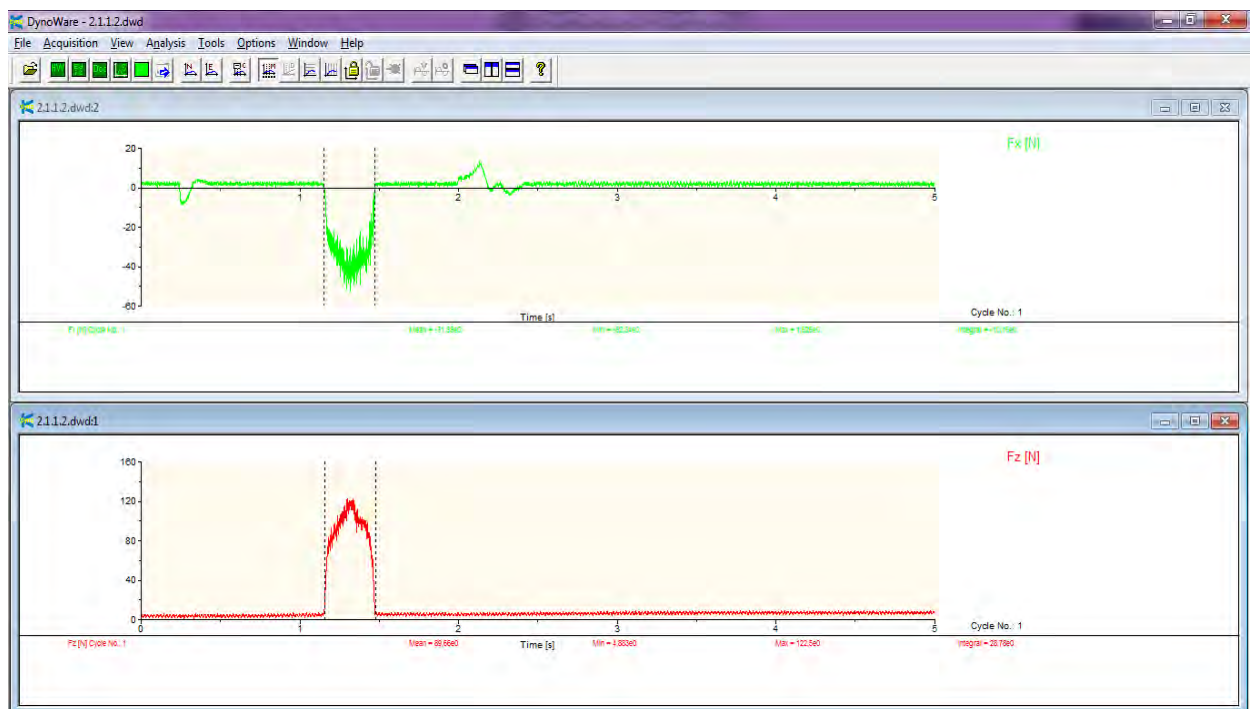
Gambar gaya potong kombinasi 1.3.3 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 1.3.3 Replikasi 2

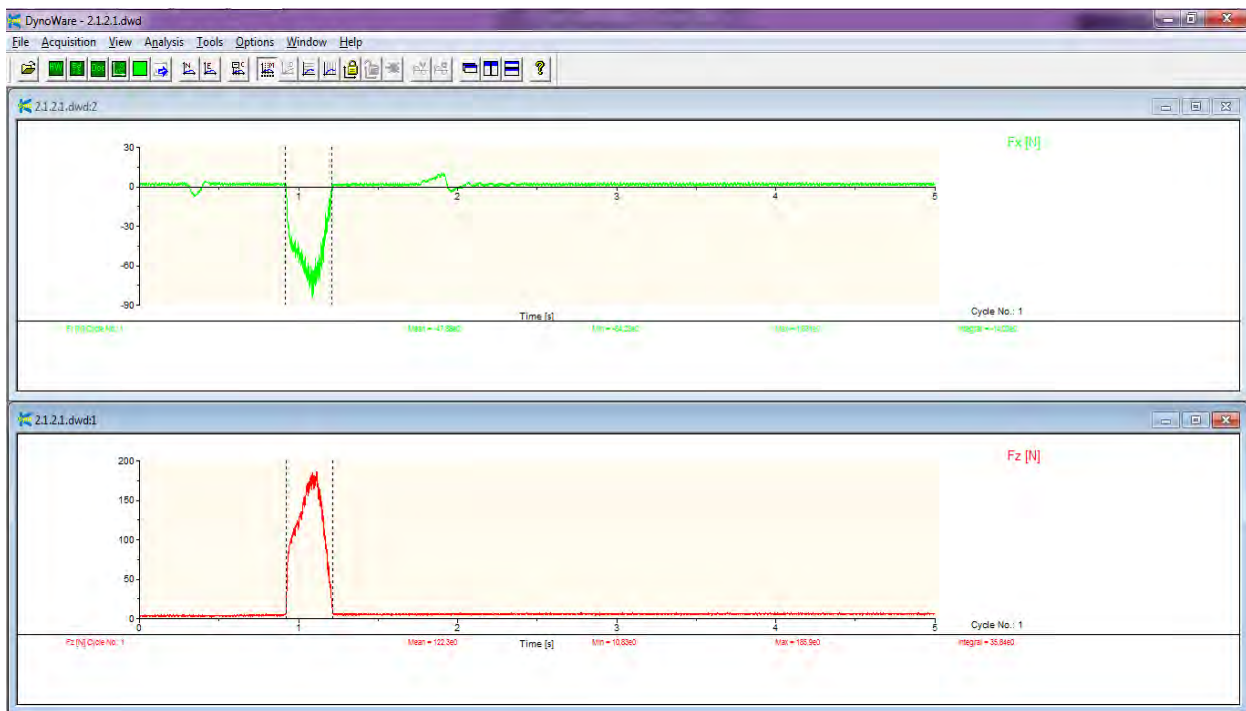


Gambar gaya potong kombinasi 2.1.1 Replikasi 1

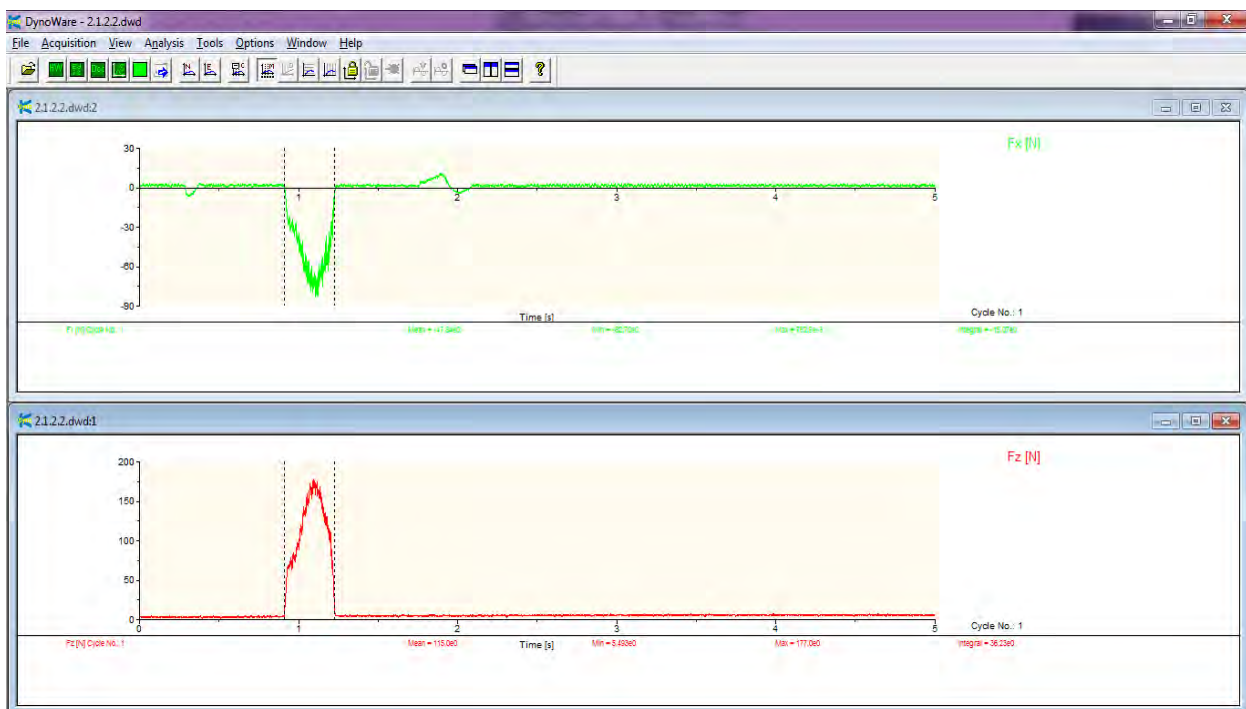


Gambar gaya potong kombinasi 2.1.1 Replikasi 2

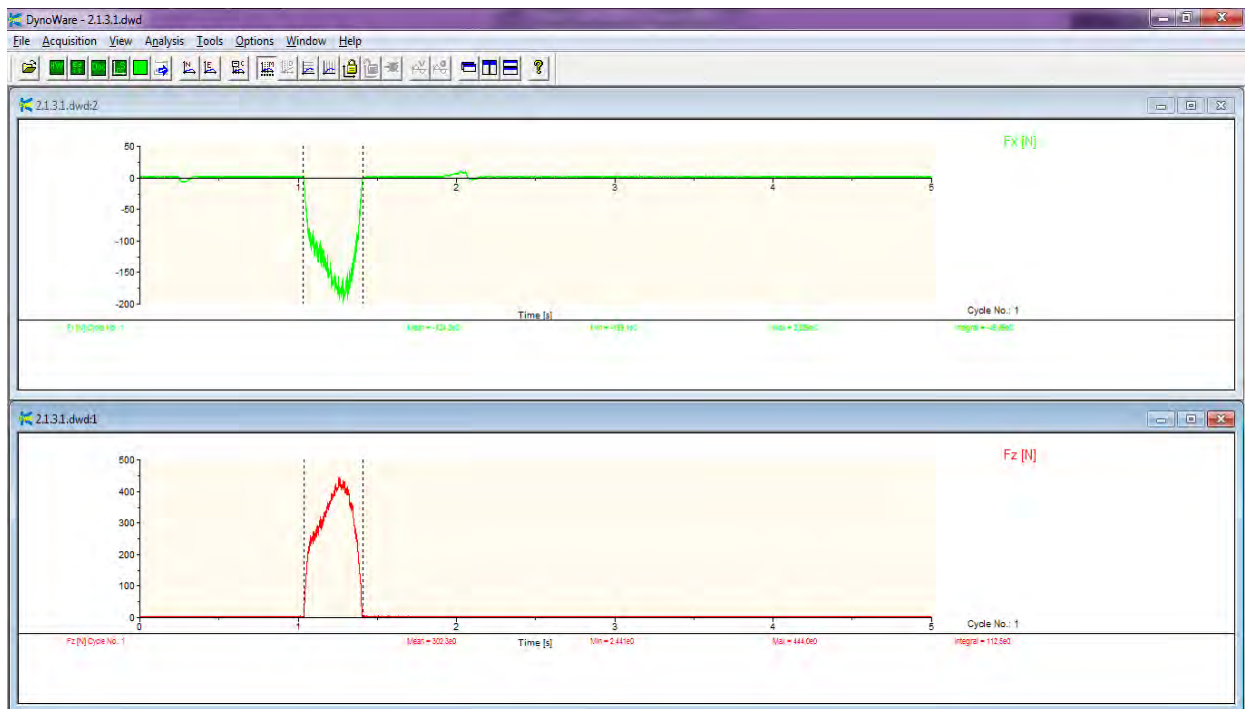




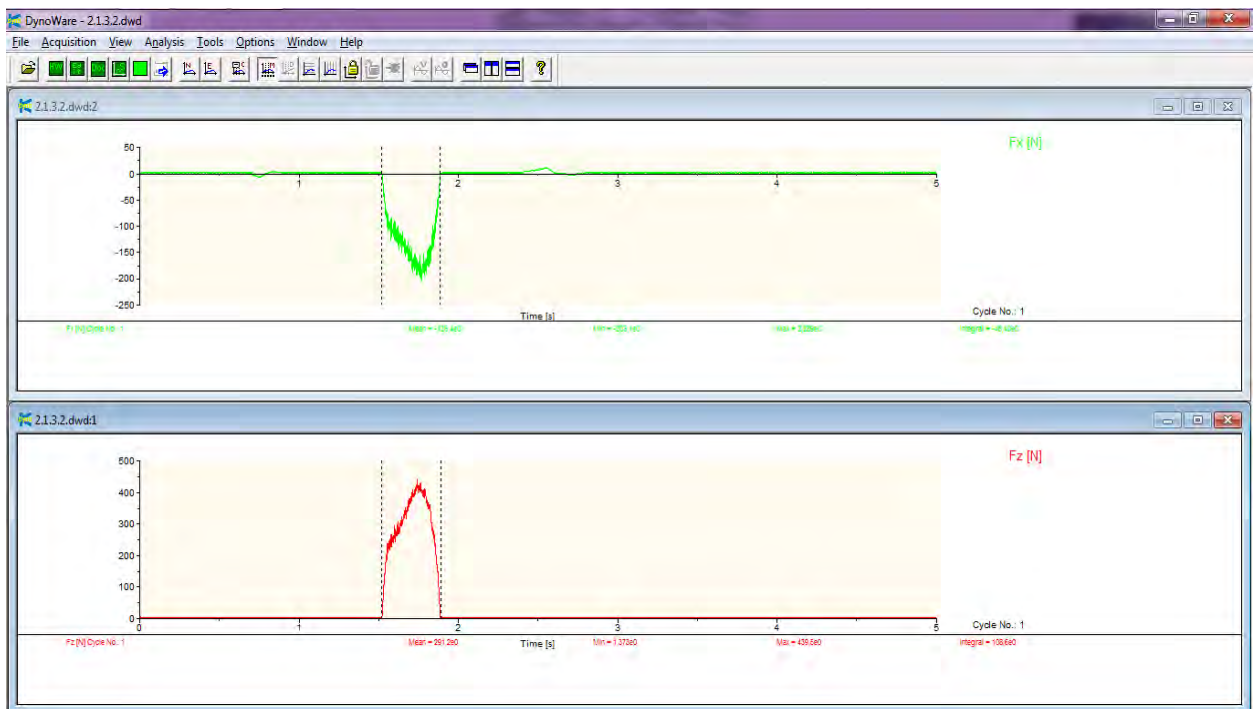
Gambar gaya potong kombinasi 2.1.2 Replikasi 1



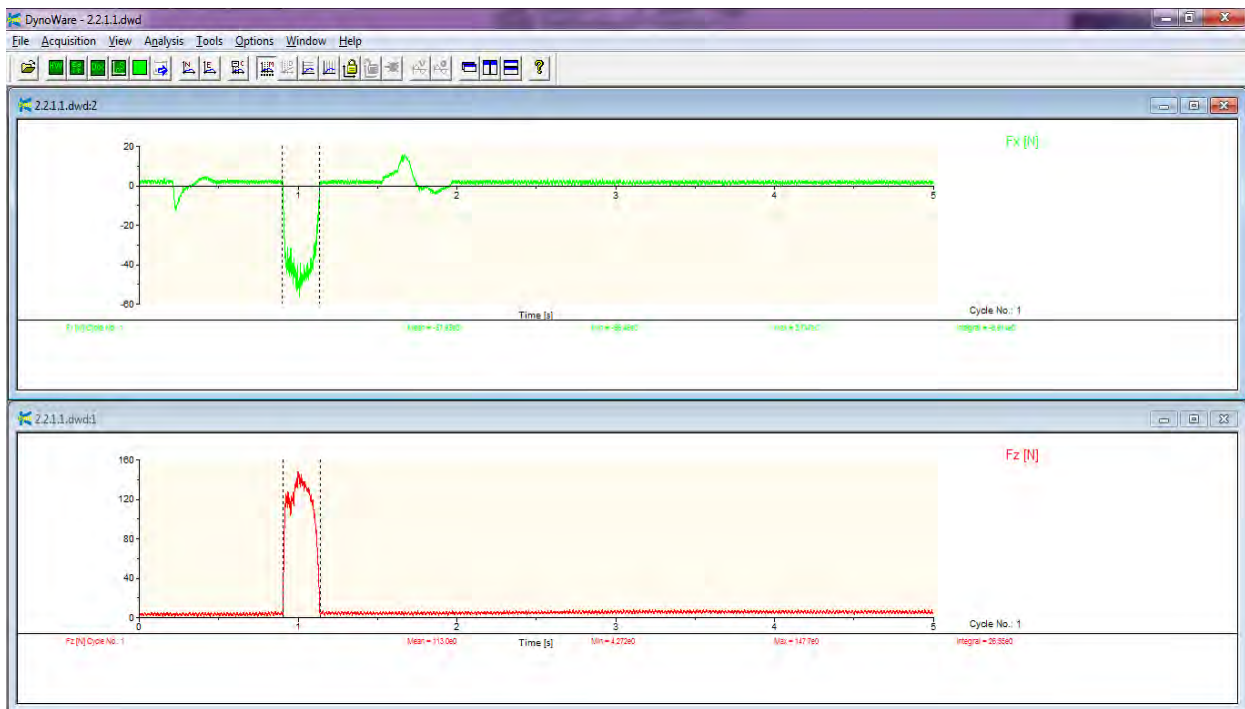
Gambar gaya potong kombinasi 2.1.2 Replikasi 2



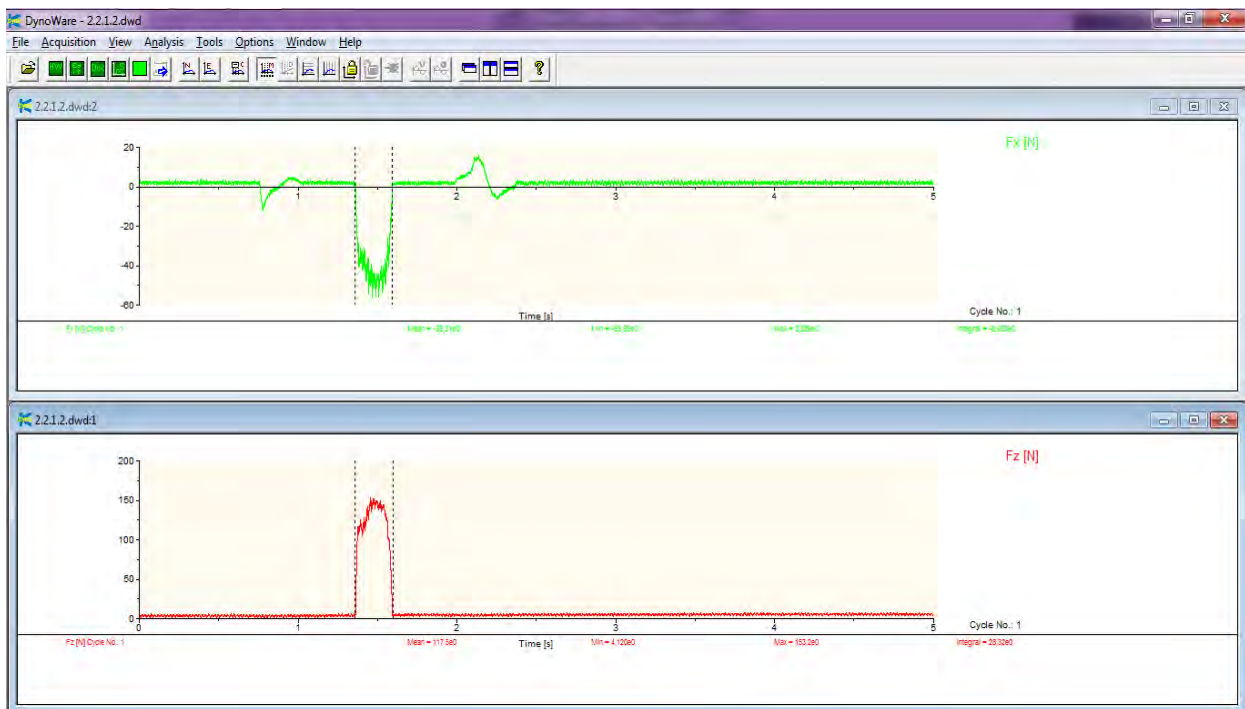
Gambar gaya potong kombinasi 2.1.3 Replikasi 1



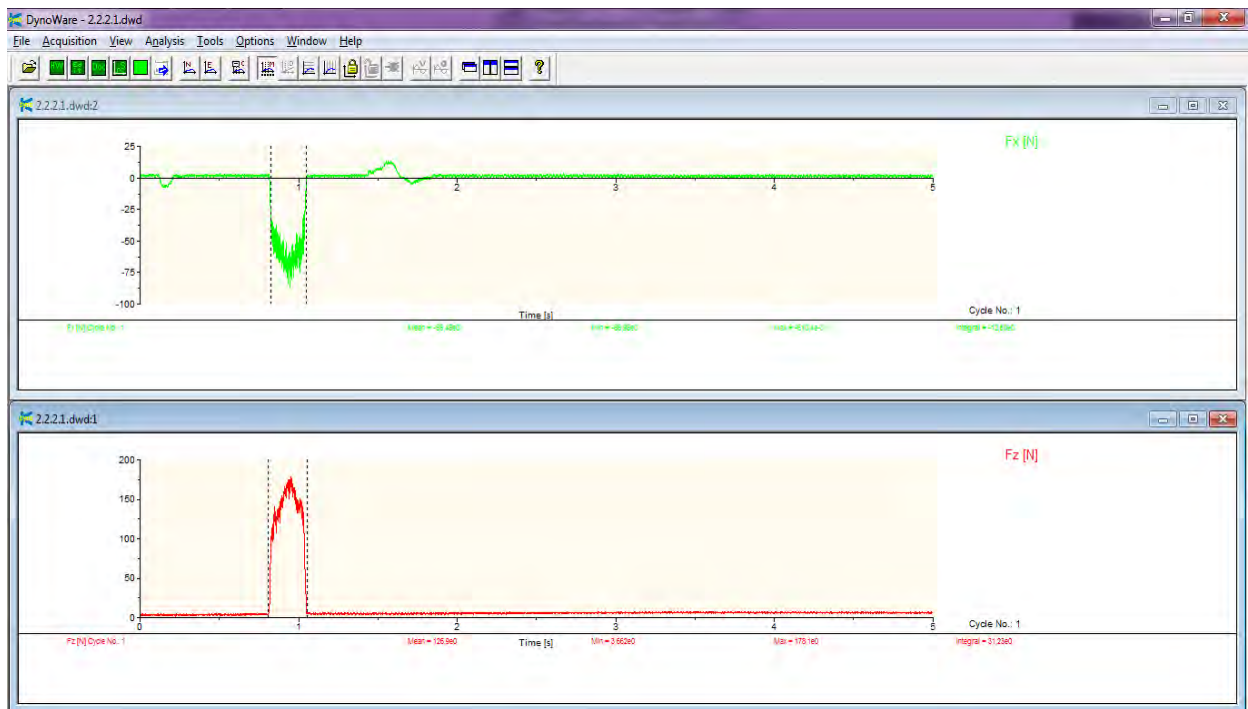
Gambar gaya potong kombinasi 2.1.3 Replikasi 2



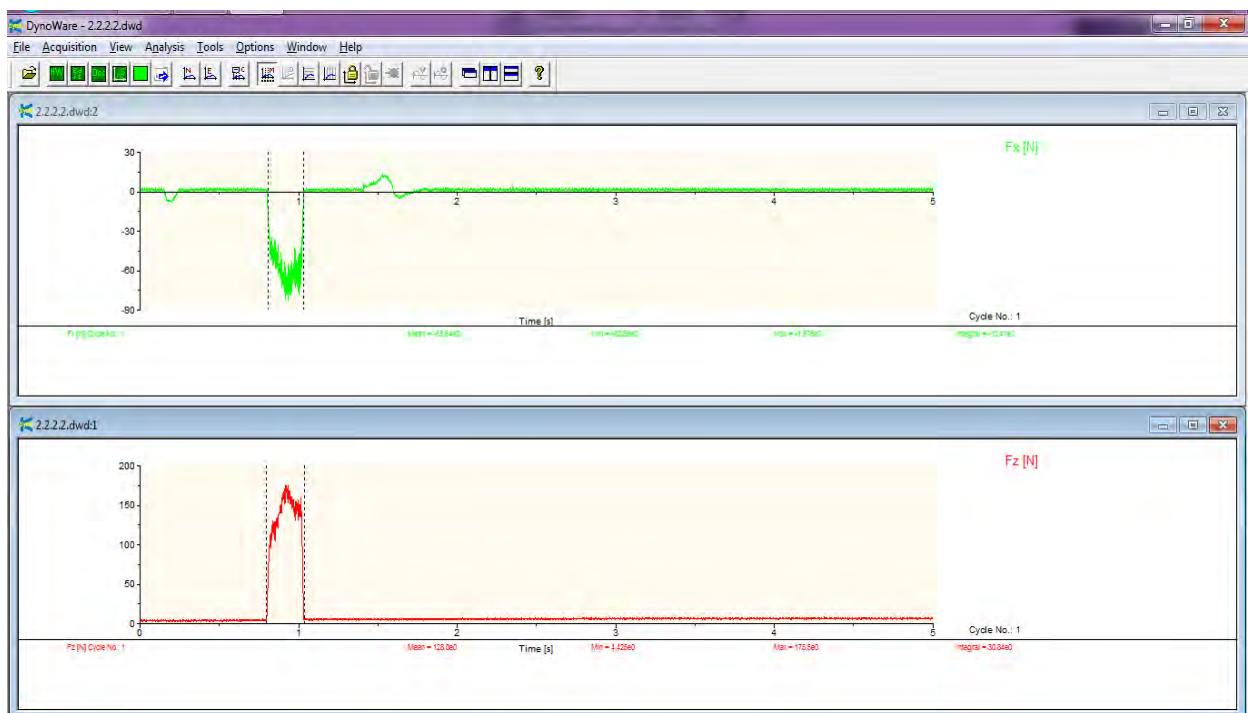
Gambar gaya potong kombinasi 2.2.1 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 2.2.1 Replikasi 2

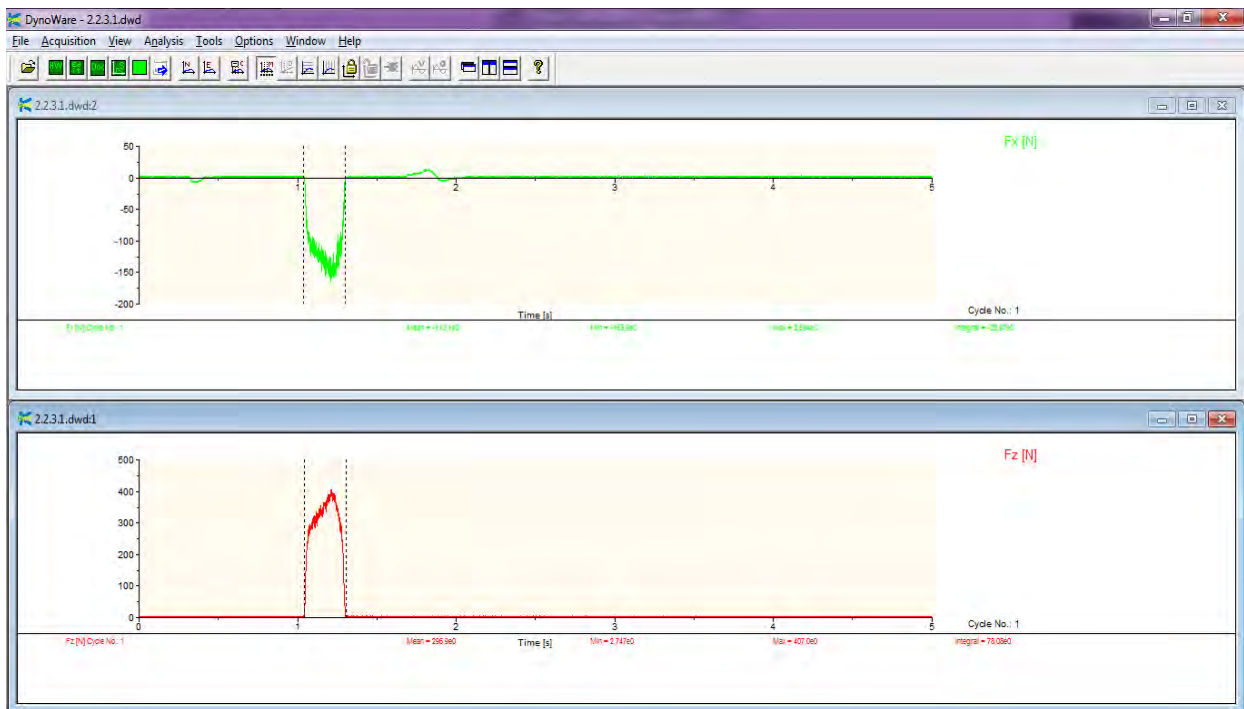


Gambar gaya potong kombinasi 2.2.2 Replikasi 1

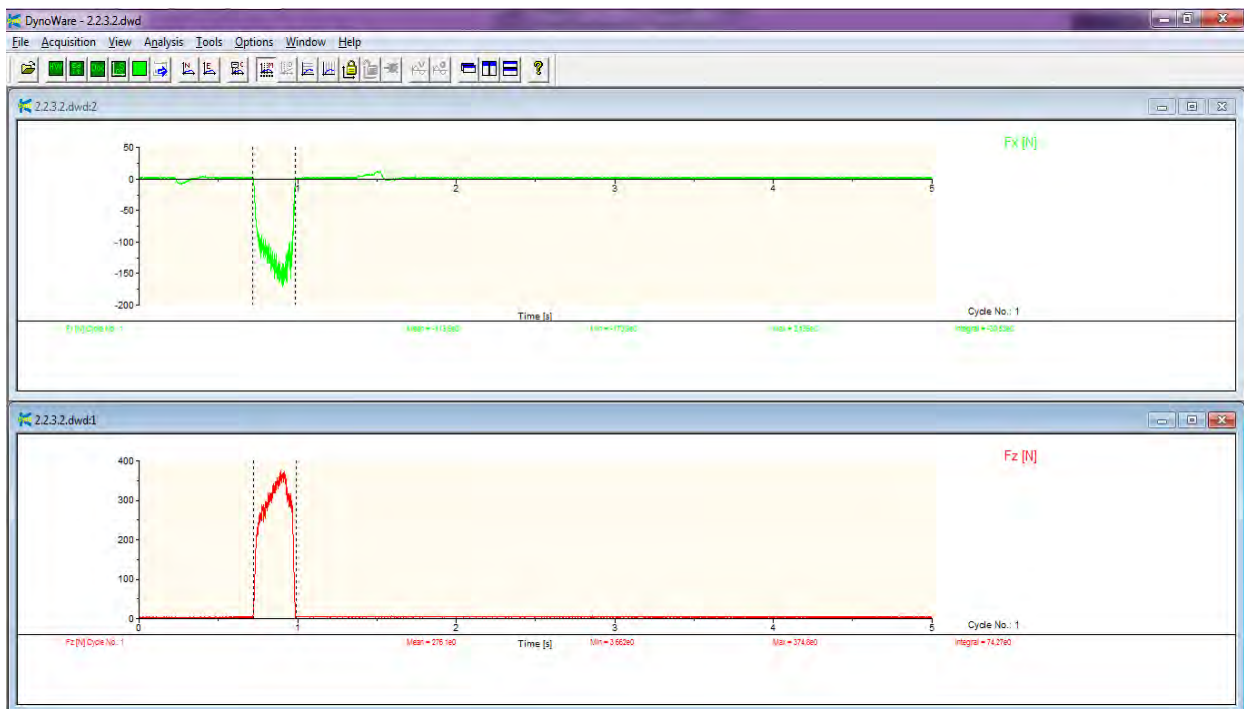


Gambar gaya potong kombinasi 2.2.2 Replikasi 2

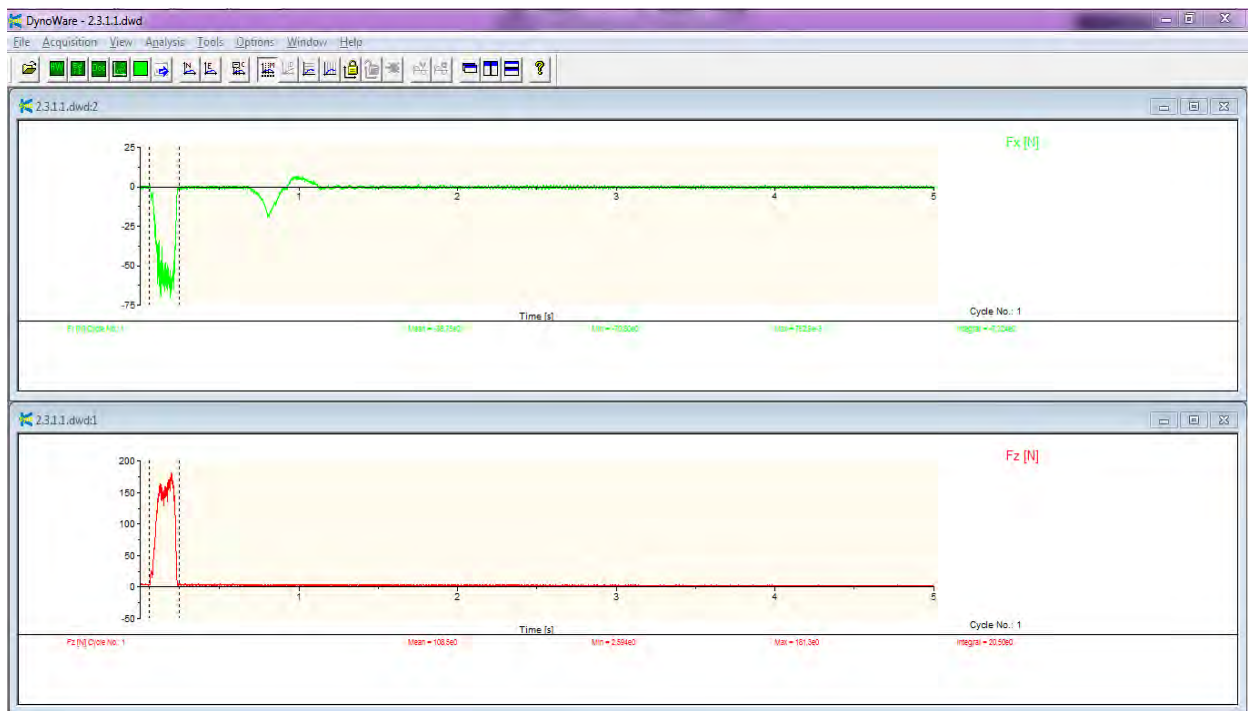




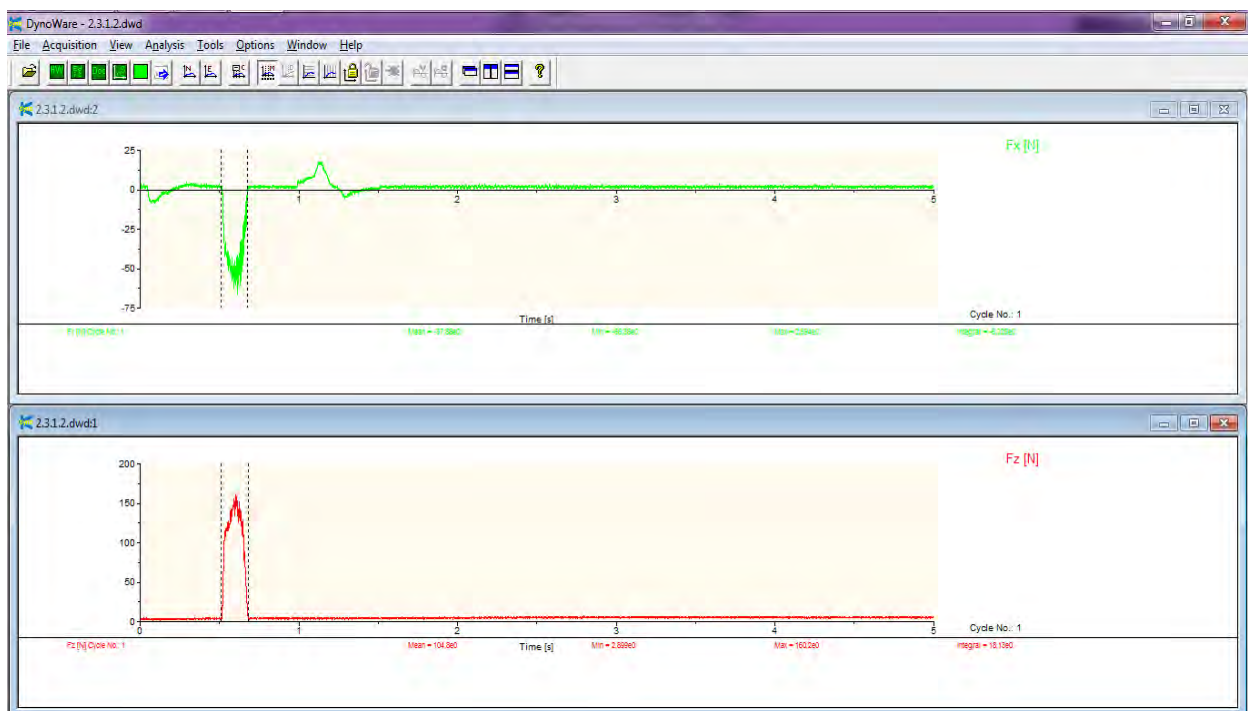
Gambar gaya potong kombinasi 2.2.3 Replikasi 1



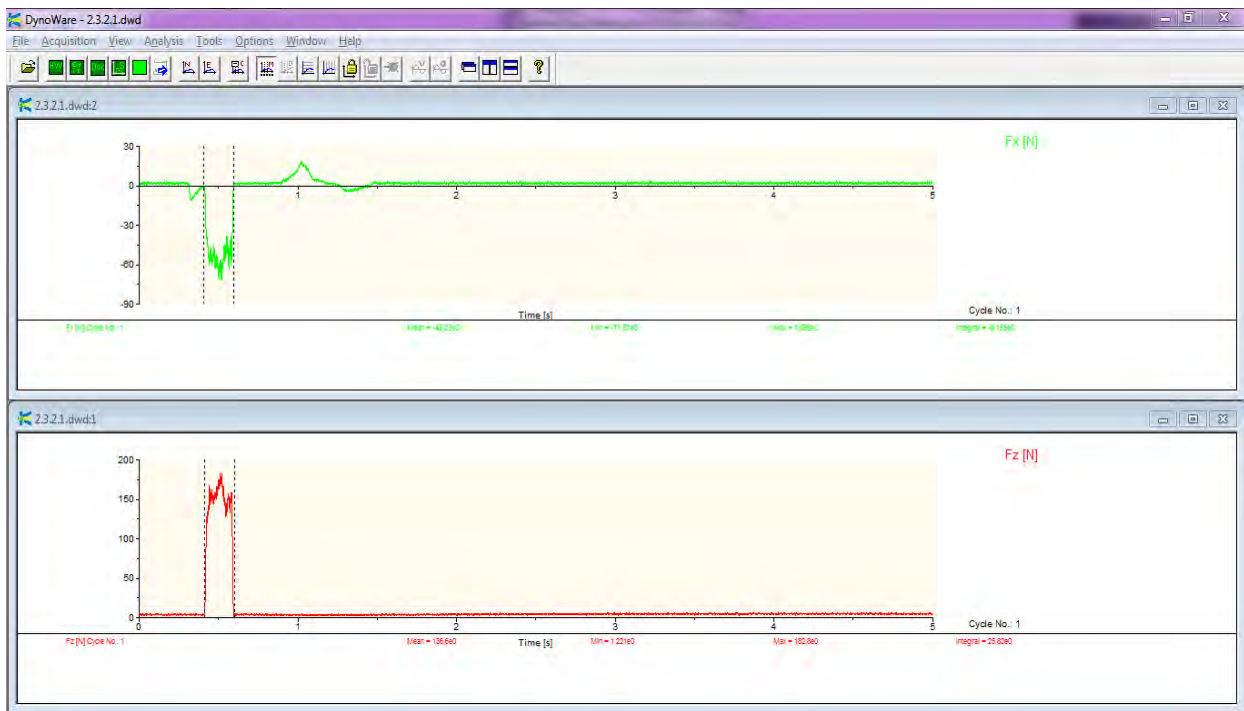
Gambar gaya potong kombinasi 2.2.3 Replikasi 2



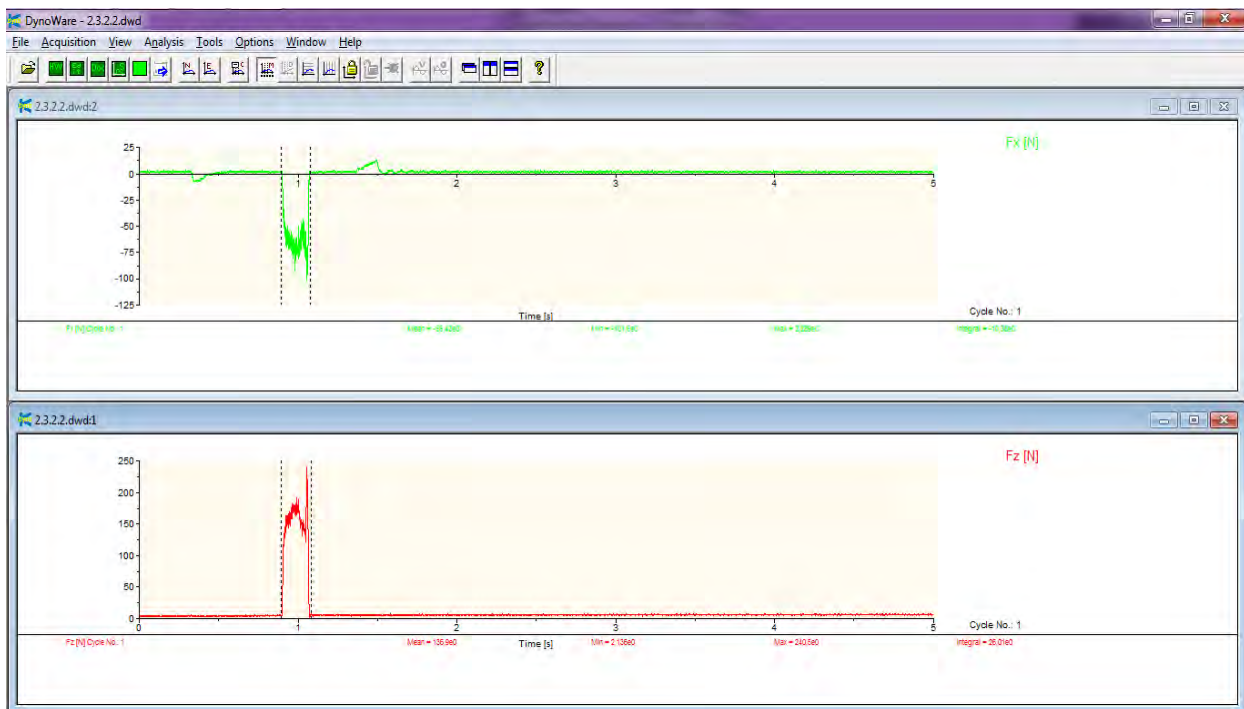
Gambar gaya potong kombinasi 2.3.1 Replikasi 1



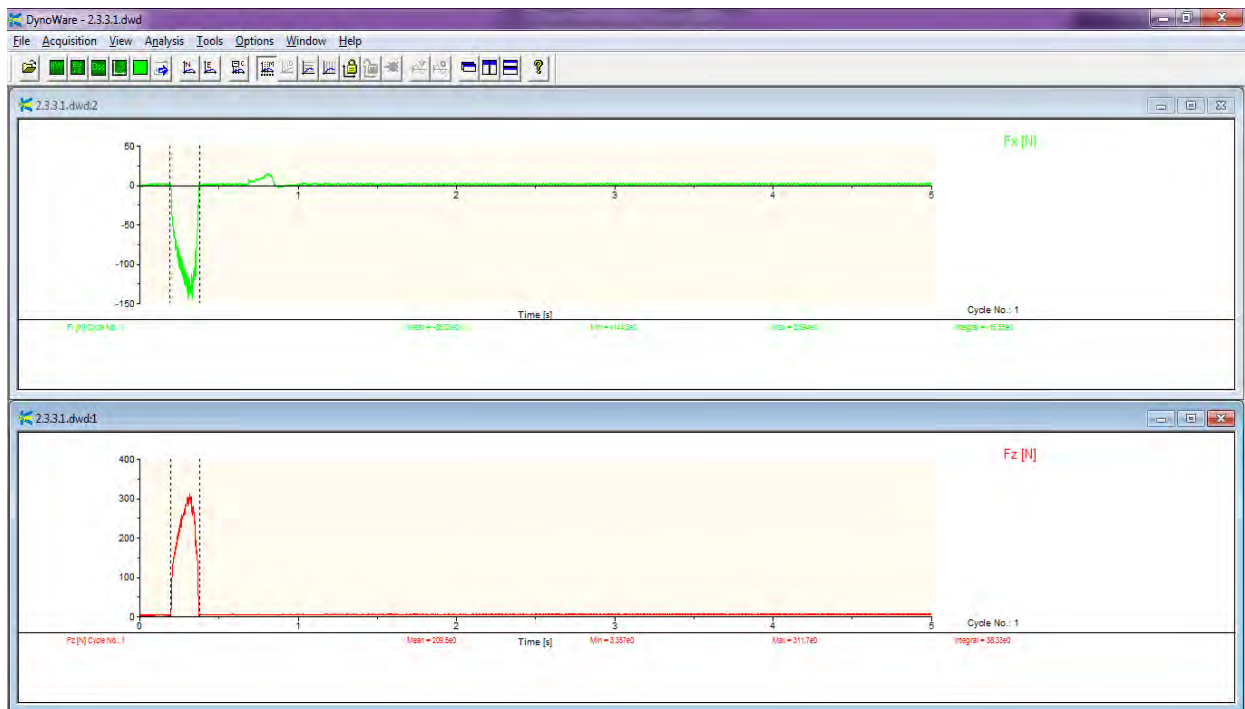
Gambar gaya potong kombinasi 2.3.1 Replikasi 2



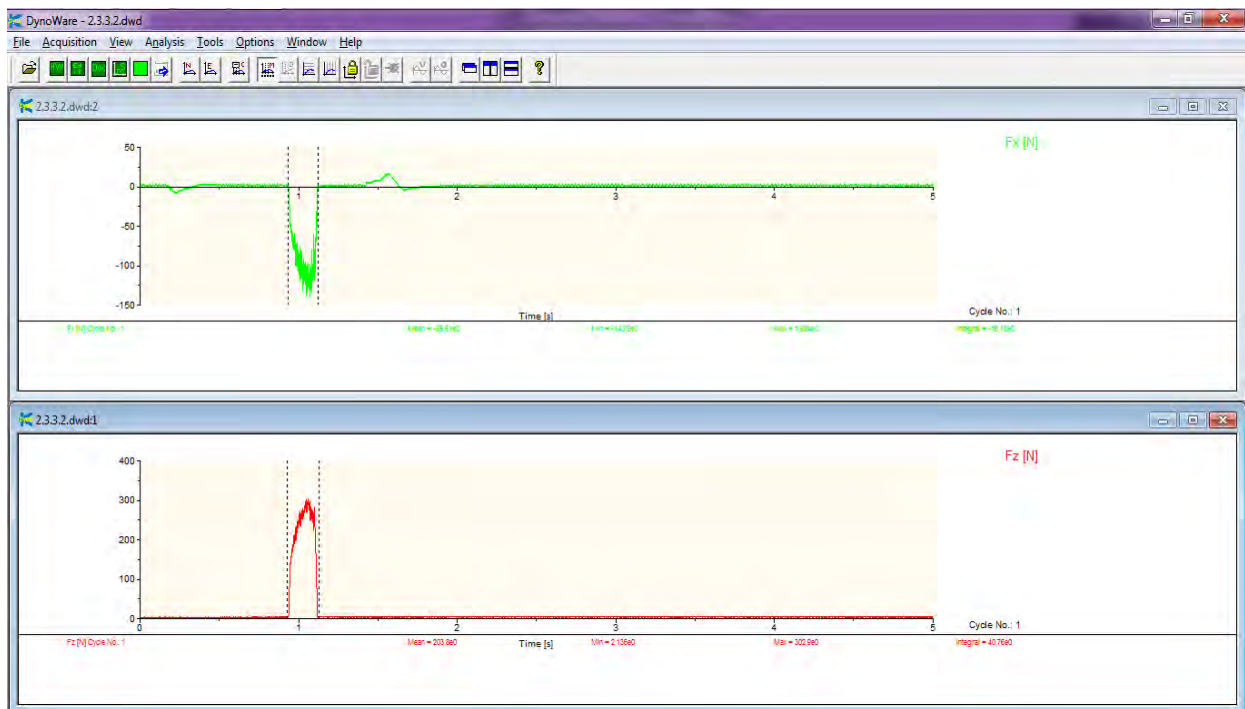
Gambar gaya potong kombinasi 2.3.2 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 2.3.2 Replikasi 2



Gambar gaya potong kombinasi 2.3.3 Replikasi 1



Gambar gaya potong kombinasi 2.3.3 Replikasi 2

Tabel Hasil Pengukuran Gaya Potong

Variabel proses			Respon						
Tipe Abrasif	Kecepatan Makan	Kedalaman Potong	Gaya (N)				Resultan Gaya (N)		
			F <sub>z</sub>		F <sub>x</sub>		F		
			Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 1	Replikasi 2	Rata-rata
Aluminum Oxide	150	0,01	104,3	102,3	37,93	39,09	110,98	109,51	110,25
		0,03	167,9	172,6	71,18	69,43	182,37	186,04	184,20
		0,06	226,8	243	112,6	107,1	253,21	265,55	259,38
	200	0,01	94,73	94,46	39,5	40,11	102,64	102,62	102,63
		0,03	161,7	162,8	65,79	68,77	174,57	176,73	175,65
		0,06	259,5	245,9	104,8	101,3	279,86	265,95	272,91
	250	0,01	111	108,3	38,88	38,98	117,61	115,10	116,36
		0,03	193,7	185	65,57	73,97	204,50	199,24	201,87
		0,06	258,8	247,7	113,2	113,1	282,47	272,30	277,39
Green Silicone	150	0,01	98,22	89,66	35,49	31,55	104,44	95,05	99,74
		0,03	122,3	115	47,88	47,84	131,34	124,55	127,95
		0,06	302,3	291,2	124,2	126,4	326,82	317,45	322,13
	200	0,01	113	117,5	37,93	38,21	119,20	123,56	121,38
		0,03	126,9	128	56,48	55,64	138,90	139,57	139,24
		0,06	296,9	276,1	110,1	113,5	316,66	298,52	307,59
	250	0,01	108,5	104,8	38,75	37,88	115,21	111,44	113,32
		0,03	136,6	136,9	48,23	56,42	144,86	148,07	146,47
		0,06	209,5	203,8	88,03	85,61	227,24	221,05	224,15

Sumber: Hasil pengukuran

### Lampiran 3

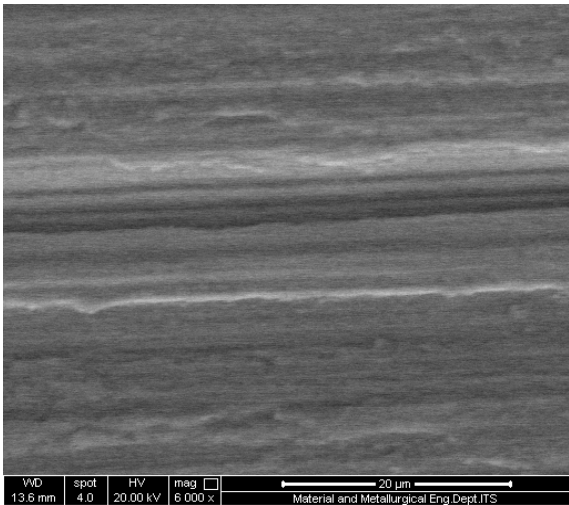
#### Hasil Data Kekasaran Permukaan

Variabel proses			Replikasi 1			Replikasi 2			Rata-rata Replikasi 1	Rata-rata Replikasi 2
Tipe Abrasif	Kecepatan Makan	Kedalaman Potong	Pengukuran ke-			Pengukuran ke-				
			1	2	3	1	2	3		
Aluminum Oxide	150	0.01	0,35	0,39	0,37	0,37	0,41	0,36	0,37	0,38
		0.03	0,5	0,54	0,59	0,52	0,52	0,6	0,54	0,55
		0.06	0,59	0,66	0,67	0,65	0,67	0,63	0,64	0,65
	200	0.01	0,27	0,32	0,37	0,3	0,32	0,37	0,32	0,33
		0.03	0,5	0,53	0,55	0,48	0,56	0,52	0,53	0,52
		0.06	0,63	0,67	0,62	0,61	0,67	0,63	0,64	0,64
	250	0.01	0,3	0,33	0,33	0,28	0,31	0,35	0,32	0,31
		0.03	0,52	0,51	0,55	0,48	0,51	0,57	0,53	0,52
		0.06	0,61	0,62	0,7	0,63	0,66	0,61	0,64	0,63
Green Silicone	150	0.01	0,36	0,38	0,43	0,35	0,39	0,41	0,39	0,38
		0.03	0,49	0,59	0,56	0,51	0,57	0,62	0,55	0,57
		0.06	1,06	1,12	1,17	1,05	1,03	1,15	1,12	1,08
	200	0.01	0,36	0,37	0,34	0,33	0,35	0,37	0,36	0,35
		0.03	0,46	0,52	0,47	0,47	0,51	0,54	0,48	0,51
		0.06	1,01	1,09	1,03	1,04	1,05	1,13	1,04	1,07
	250	0.01	0,3	0,32	0,35	0,32	0,31	0,36	0,32	0,33
		0.03	0,43	0,46	0,39	0,38	0,44	0,45	0,43	0,42
		0.06	0,86	0,82	1,02	0,88	0,86	1,05	0,90	0,93

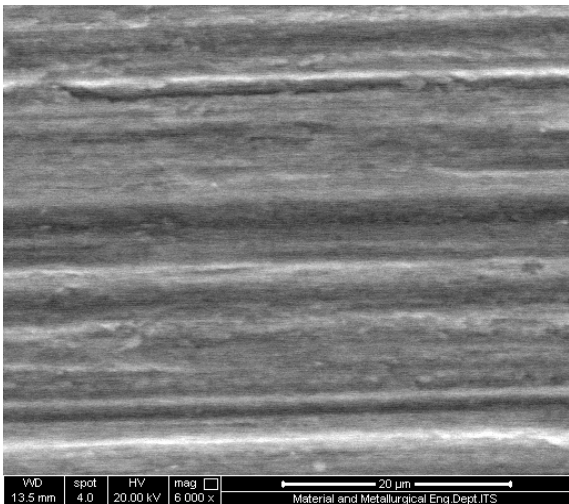
Sumber: Hasil Pengukuran

**Lampiran 4**

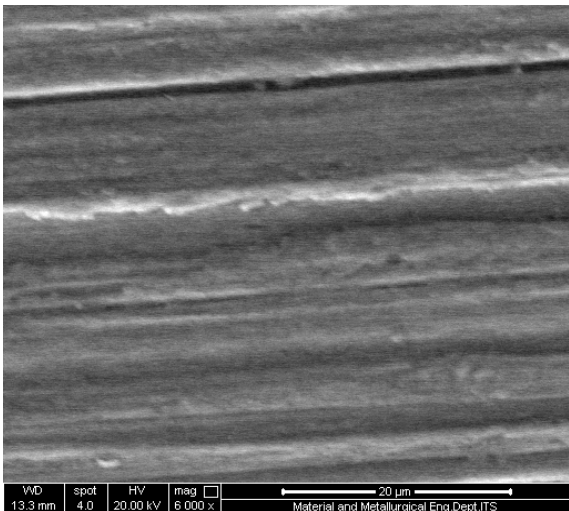
**Hasil Foto SEM Permukaan Benda Kerja**



Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.1.1

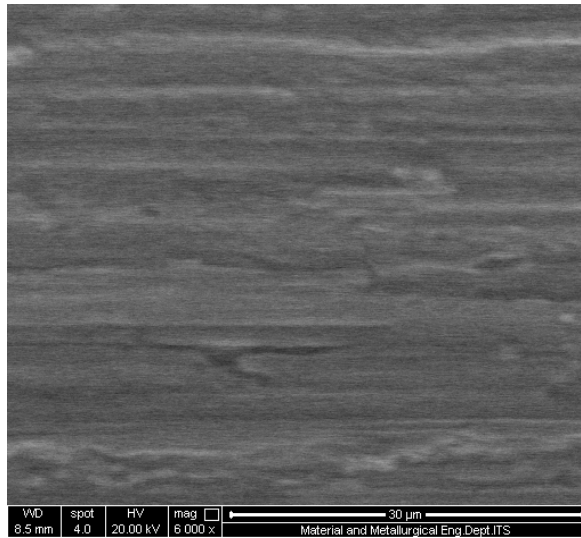


Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.1.2

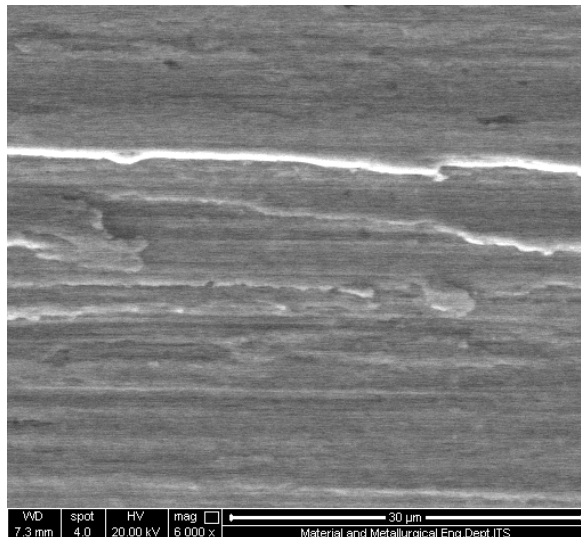


Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.1.3

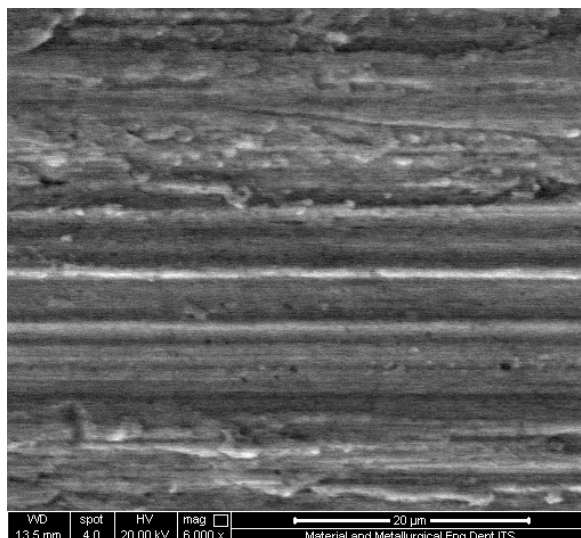




Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.2.1

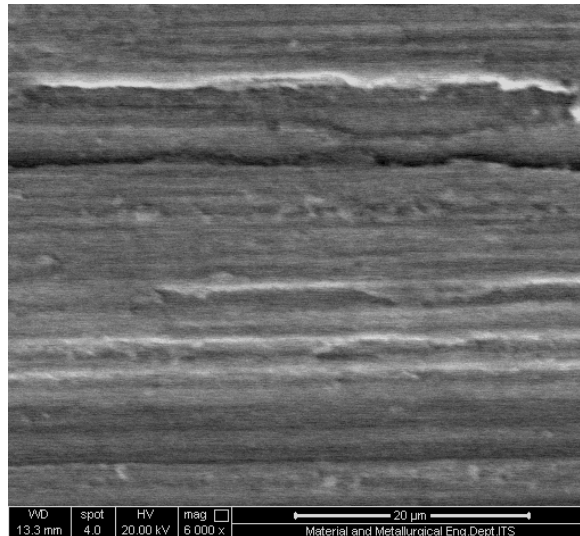


Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.2.2

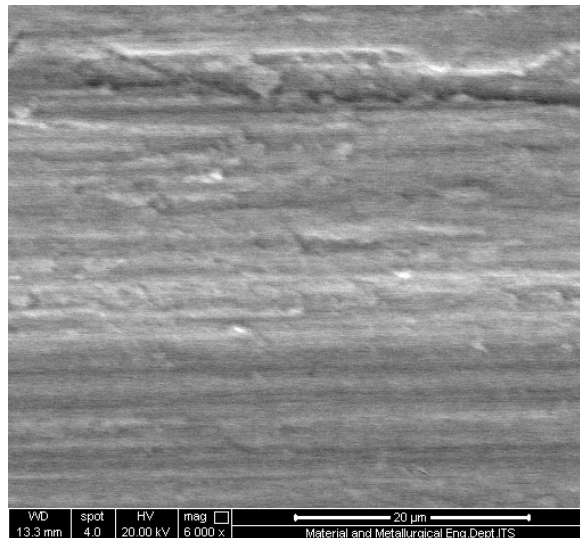


Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.2.3

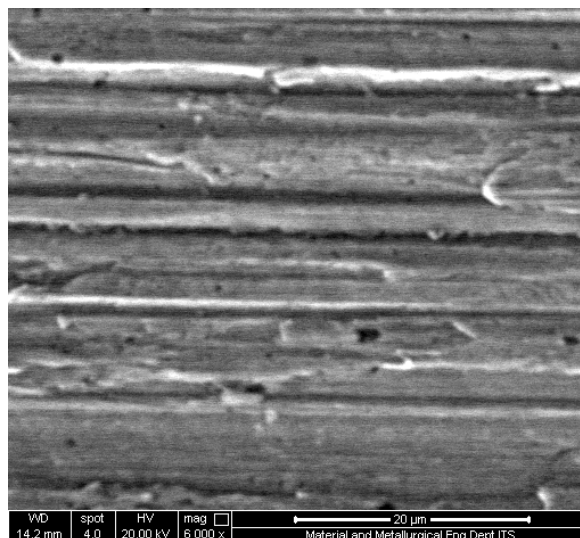




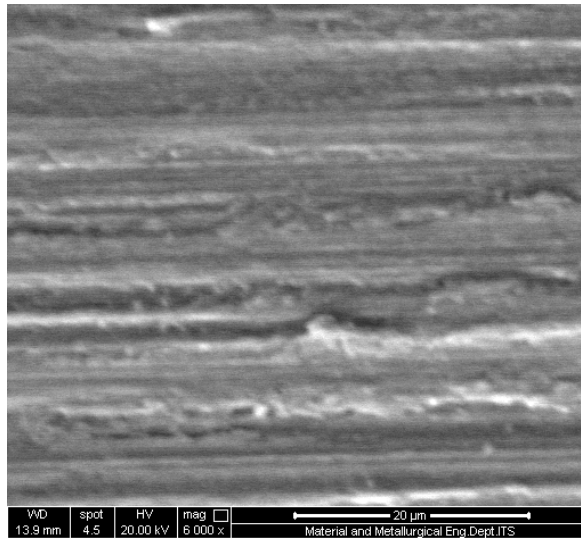
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.3.1



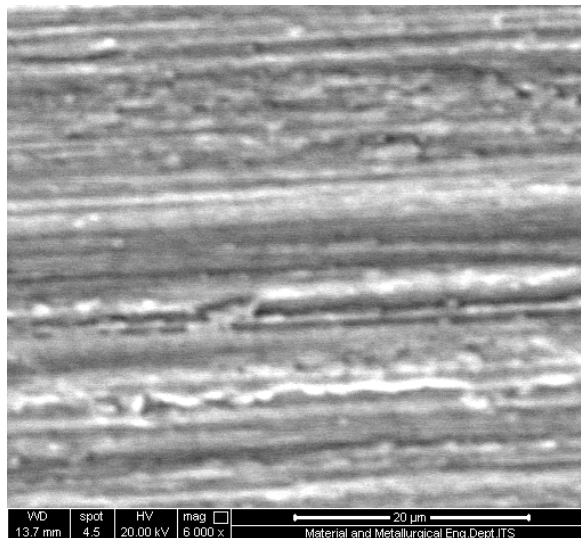
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.3.2



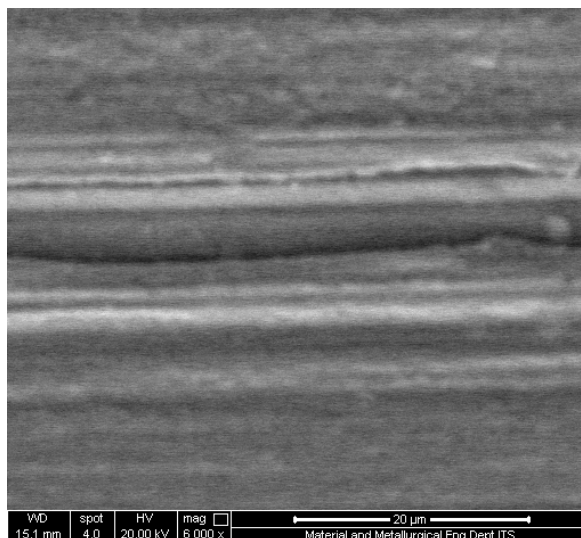
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 1.3.3



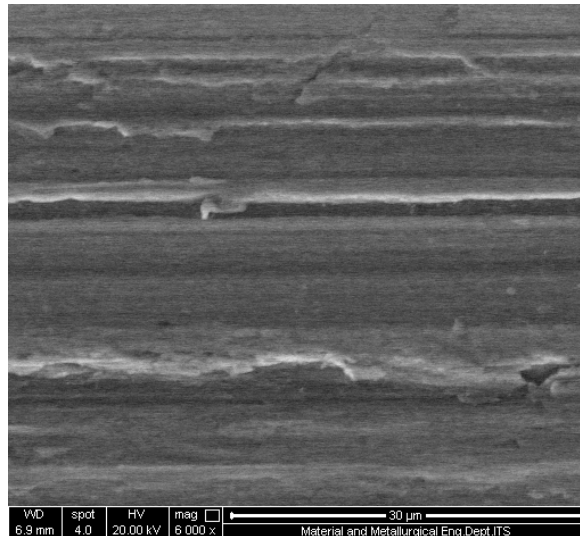
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.1.1



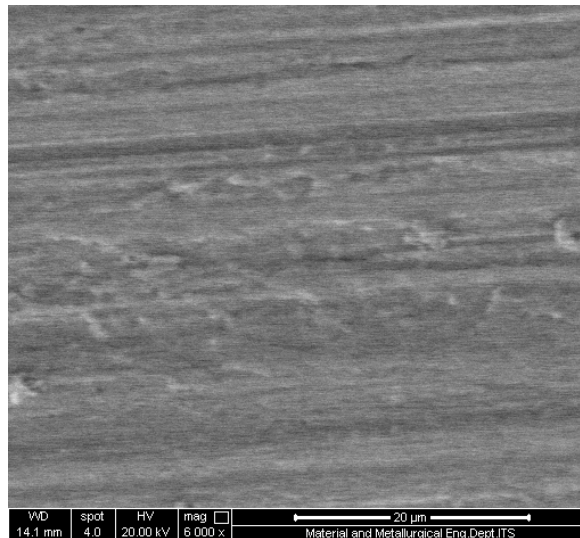
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.1.2



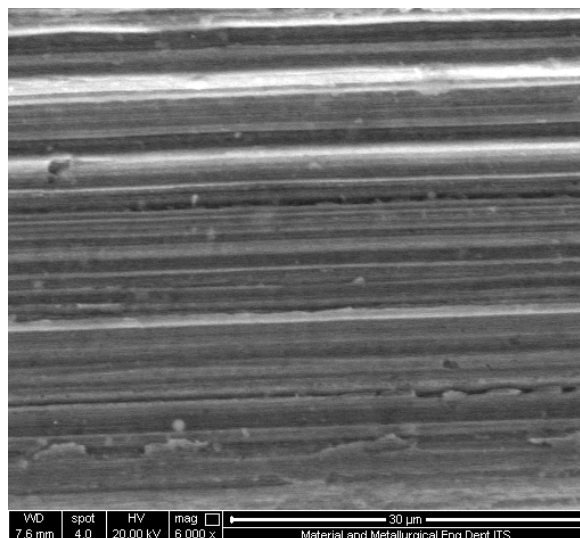
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.1.3



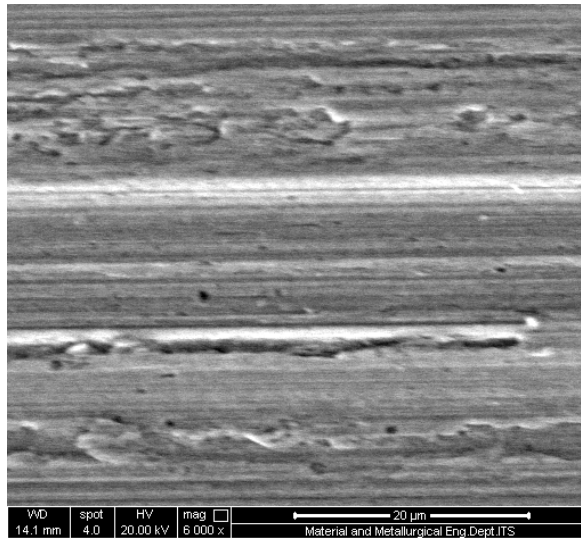
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.2.1



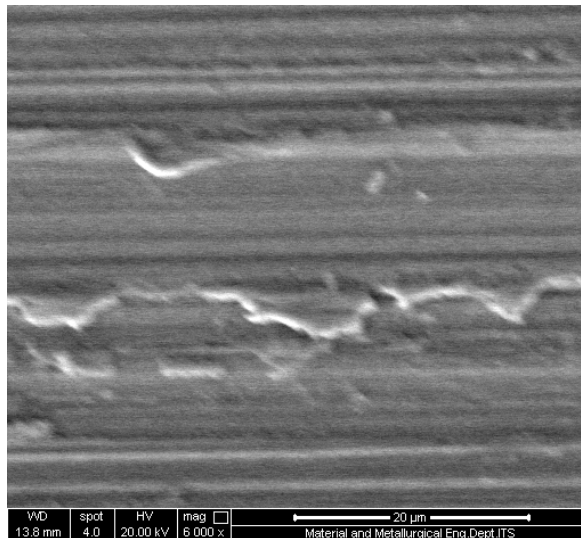
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.2.2



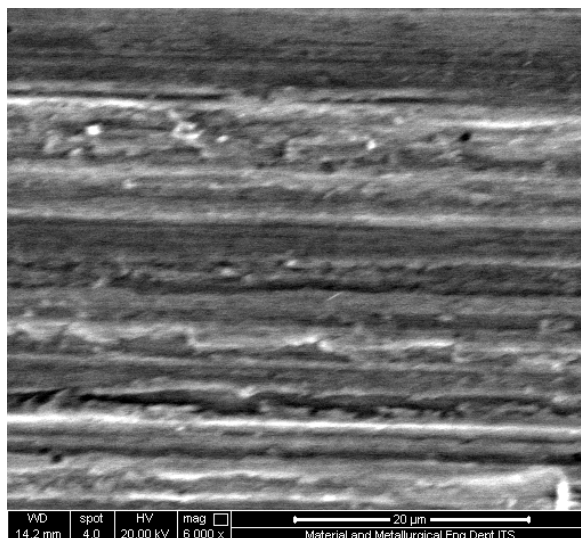
Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.2.3



Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.3.1



Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.3.2



Gambar permukaan benda kerja perbesaran 6000x kombinasi 2.3.3

## Lampiran 5

### Hasil Perhitungan Anova Variabel Proses terhadap Gaya Potong

#### General Linear Model: F versus A; B; C

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	2	1; 2
B	fixed	3	1; 2; 3
C	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for F, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	1082	1082	1082	1,59	0,218
B	2	268	268	134	0,20	0,822
C	2	174497	174497	87249	127,97	0,000
Error	30	20453	20453	682		
Total	35	196301				

S = 26,1106    R-Sq = 89,58%    R-Sq(adj) = 87,84%

Unusual Observations for F

Obs	F	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	326,819	272,242	10,660	54,578	2,29 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

A	N	Mean	Grouping
1	18	189,0	A
2	18	178,0	A

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

B	N	Mean	Grouping
2	12	186,6	A
1	12	183,9	A
3	12	179,9	A

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

C	N	Mean	Grouping
3	12	277,3	A
2	12	162,6	B
1	12	110,6	C

## Lampiran 6

### Hasil Perhitungan Anova Variabel Proses terhadap Kekasaran Permukaan

#### General Linear Model: Ra versus A; B; C

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	2	1; 2
B	fixed	3	1; 2; 3
C	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0,13040	0,13040	0,13040	11,38	0,002
B	2	0,03534	0,03534	0,01767	1,54	0,231
C	2	1,45865	1,45865	0,72932	63,62	0,000
Error	30	0,34390	0,34390	0,01146		
Total	35	1,96829				

S = 0,107066    R-Sq = 82,53%    R-Sq(adj) = 79,62%

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

A	N	Mean	Grouping
2	18	0,6	A
1	18	0,5	B

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

B	N	Mean	Grouping
1	12	0,6	A
2	12	0,6	A
3	12	0,5	A

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

C	N	Mean	Grouping
3	12	0,8	A
2	12	0,5	B
1	12	0,3	C

## Lampiran 7

### Hasil Perhitungan Anova Variabel Proses terhadap Temperatur

#### General Linear Model: T versus A; B; C

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	2	1; 2
B	fixed	3	1; 2; 3
C	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for T, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	17484	17484	17484	21,41	0,001
B	2	10582	10582	5291	6,48	0,012
C	2	42727	42727	21363	26,16	0,000
Error	12	9799	9799	817		
Total	17	80592				

S = 28,5758    R-Sq = 87,84%    R-Sq(adj) = 82,78%

Unusual Observations for T

Obs	T	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	440,000	391,444	16,498	48,556	2,08 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

A	N	Mean	Grouping
1	9	427,6	A
2	9	365,2	B

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

B	N	Mean	Grouping
1	6	422,3	A
2	6	402,8	A B
3	6	364,0	B

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

C	N	Mean	Grouping
3	6	457,8	A
2	6	392,7	B
1	6	338,7	C

## Sertifikat Material Spesimen

**TEST CERTIFICATE**

**HITACHI Metals, Ltd.**  
 Hitachi Works  
 2107-2, Yasugi cho, Yasugi shi, Shimane-ken  
 692-8601 Japan

CASE No: 655.156 DESCRIPTION: HOT ROLLED ALLOY TOOL STEEL BAR  
 Order No: T0620130200087 (002)  
 Material: DAC  
 Condition: Annealed

Heat No: C0669  
 Report No: 355-1819-90  
 Date: Mar. 28, 2013  
 Page: 1/1

Size: F98(+2-0)X162(+4-0)X2900-4500  
 Quantity (pcs.): 2  
 Mass (kg): 894  
 Out Ref No: 59-153-1F9L-02

1) Chemical Composition %				2) Heat Treatment				3) Hardness (HRC)				4) Microstructure			
Elements	C	SI	MN	P	S	CR	MO	V	Test Piece (HT)	Item	Spec.	TP No.	Result		
Spec.	0.25	0.80	0.30	MAX	0.010	4.80	1.20	0.50	Q. 1090 C X 15min. NQ	Test Piece	MAX259 HRC	152	1		
Ladle	-0.42	-1.20	-0.50	0.030	0.010	-5.50	-1.60	-1.10	1.600 C X 15min. AC	Test Piece	MAX259 HRC	152	1		
3) Decarburization	0.38	0.90	0.43	0.010	<0.001	5.08	1.26	0.83	4) Microstructure	Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td>	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td>	TP No. <td>Result</td>	Result		
7) Hardness After Heat Treatment (HRC)									5) Microstructure	Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td>	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td>	TP No. <td>Result</td>	Result		
Item	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Result	Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td></td></td></td>	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td></td></td>	TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td></td>	Result	Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td></td>	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td></td>	TP No. <td>Result</td> <td>Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td></td>	Result	Item <td>Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td></td>	Spec. <td>TP No. <td>Result</td> </td>	TP No. <td>Result</td>	Result
Evaluation	GOOD	GOOD	GOOD	Test Piece	- HRC	51.2			GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD

Conforms to All Drawing and/or Specification Requirements.  
 We hereby certify that the material described herein has been made and tested in accordance with the requirements of the purchase specification with satisfactory results.

*K. Nakamura*  
 QUALITY ASSURANCE DEPARTMENT

Inspection Item	Dimensional Inspection	Material Check
Visual Inspection	GOOD	GOOD
Material Check	GOOD	GOOD



## Lampiran 9

### Sertifikat Proses Perlakuan Panas



**PARAGON**  
SPECIAL METAL AND SERVICES

PT. PARAGON SPESIAL METAL  
Jl. Raya Kedung Asem No 9 / C-1  
Surabaya 60298 – INDONESIA  
Telp. : +62-31-87157160, 8715166,  
8709172, 8722192  
Fax. : +62-31-8722192, 8706596  
E Mail : [paragon@sby.centrin.net.id](mailto:paragon@sby.centrin.net.id)

Jl. Flores III Blok C3-1, kawasan industri MM  
Z100  
Cibitung, Bekasi - Indonesia  
Telp. 021-89982006, 89981865  
Fax. 021-89982007  
Email : [paragon.jkt@cbn.net.id](mailto:paragon.jkt@cbn.net.id)  
[paragon.jkt@gmail.com](mailto:paragon.jkt@gmail.com)

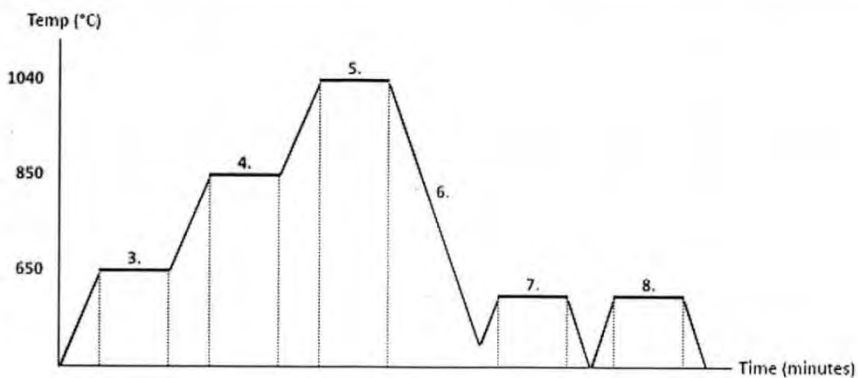
### Heat Treatment Certificate

Customer : SAIFUL ARIF, Sdr  
PK No : 186  
PK Date : 11/09/2014  
Amount : 3Pcs  
Material : SKD 61  
Part Name : PLATE 2

Size/Photo : BENDA KERJA

*This is to certify that the material have been hardened with the process as follows:*

No.	Process	Temp (°C)	Time (minutes)	Date of Process	Hardness Acquired (HRC)
1.	Soft Annealing				
2.	Stress Relieving				
3.	Pre Heating I	600	45	11/09/2014	
4.	Pre Heating II	850		11/09/2014	
5.	Austenitizing	1020	45	11/09/2014	
6.	Quenching Media	Cold Q		11/09/2014	
7.	Tempering I	560	120	11/09/2014	
8.	Tempering II	560	120	12/09/2014	50 HRC
9.	Tempering III				
10.	Carburizing				
11.	Nitro Carburizing				



Prepared by

**PARAGON**

Alamat : (031) 87157160, 8715166, 8709172, 8722192

Surabaya

(PURNAMA)

Sumber: Paragon, Surabaya



## DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, G.K. dan Johnson, R.A. (1977), *Statistical Concepts and Methods*, John Wiley & Sons, Inc., America.
- Bisono, F. (2014), *Pengaruh Tipe Abrasif dan Parameter Proses Gerinda Terhadap Gaya Potong, Integritas Permukaan Benda Kerja (IPBK) dan Mode Pembentukan Geram (MPG) Pada Proses Gerinda Permukaan Baja Perkakas SKD 11*, Tesis yang tidak dipublikasikan, Program Magister jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- Black, J.T. dan Kohser, R.A. (2008) *Materials and Processes In Manufacturing*, Tenth Edition, John Wiley & Sons, Inc., America.
- Dhar, N.R., Siddiqui, A.T., dan Rashid, M.H. (2006), "Effect of High-Pressure Coolant Jet On Grinding Temperature, Chip and Surface Roughness In Grinding AISI-1040 Steel," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 1: 22-28.
- Fathallah, B.B., Fredj, N.B., Sidhom, H., Braham, C. dan Ichida, Y. (2009), "Effects of Abrasive Type, Cooling Mode and Peripheral Grinding Wheel Speed on the AISI D2 Steel Ground Surface Integrity," *Int. J. of Mach. Tools & Manufacture*, Vol. 49, pp. 261-272.
- Iriawan, N. dan Astuti, S.P. (2006), *Mengolah data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*, Edisi I, Andi Offset, Yogyakarta.
- Lee, H.T. dan Tai, T.Y. (2003), "Relationship between EDM Parameters and Surface Crack Formation," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, hal. 676-683.
- Montgomery, D.C. (1991), *Design and Analysis of Experiment*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nguyen, T. dan Zhang, L.C. (2003), "An Assessment of the Applicability of Cold Air and Oil Mist in Surface Grinding," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, pp. 224-230.
- Park, S.H. (1996), *Robust Design and Analysis for Quality Engineering*, 1<sup>st</sup> edition, Chapman & Hall, London.
- Rochim, T. (1993), *Proses Pemesinan*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Rochim, T. (2001), *Spesifikasi, Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.



---

Ross, P.J. (2008), *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, 7<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill International Editions, US.

Rowe, W.B. (2009), *Principles of Modern Grinding Technology*, William Andrew, USA.

Schey, J.A. (2000), *Introduction to Manufacturing Processes*, Third Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., US.

## BIODATA PENULIS



Saiful Arif, lahir di Kabupaten Jombang pada tanggal 21 November 1988, penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Anas Djaelani dan Ibu Mindartik Ningsih. Pendidikan dasar ditempuh di MI Miftahul Ulum Dero Kesamben, lulus pada 2000. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SLTPN 2 Peterongan, lulus pada 2003. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMKN 3 Jombang, lulus tahun 2006. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Negeri Surabaya dengan mengambil Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. Gelar Sarjana Pendidikan diperoleh setelah menamatkan pendidikan pada tahun 2010. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Program Studi Rekayasa dan Sistem Manufaktur. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis dapat melalui email: [ipo3l.ayi3p@gmail.com](mailto:ipo3l.ayi3p@gmail.com).